



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

## **LEHTMETALLIST DETAILI PAINUTUSOPERATSIOONIDE ANALÜÜS**

### **ANALYSIS OF THE BENDING OPERATIONS OF A SHEET METAL DETAIL**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Oskar Protsin

Üliõpilaskood 191792MATM

Juhendaja: Martin Eerme, Mehaanika ja  
tööstustehnika instituudi professor

# AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“26” mai 2021

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” ..... 20.....

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....” .....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Oskar Protsin

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose  
Lehtmetallist detaili painutusoperatsioonide analüüs,  
(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on Martin Eerme.

(juhendaja nimi)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna  
Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse  
tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu,  
sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse  
kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka  
autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega  
isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

---

26.05.2021  
(kuupäev)

### **Mehaanika ja tööstustehnika instituut**

---

<sup>1</sup> Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

# LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Oskar Protsin, 191792MATM

Õppekava, peaeriala: MATM02/18 - Tootearendus ja tootmistehnika

**Juhendaja(d):** Taltech mehaanika ja tööstustehnika instituudi professor, Martin Eerme, +372 620 3270

**Konsultant:** .....(nimi, amet)  
..... (ettevõtte, telefon, e-post)

## Lõputöö teema:

Lehtmetailist detaili painutusoperatsioonide analüüs

Analysis of the bending operations of a sheet metal detail

## Lõputöö põhieesmärgid:

1. Analüüsida ette antud terasest detaili vormitavust.
2. Analüüsida detaili painutamiseks vajalike elementide omadusi ja geometriat
3. Projekteerida tehtud analüüsi põhjal detaili painutamiseks vajalikud painituselemendid.

## Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Analüüsitava detaili tagaspainete analüüs	01.04.2021
2.	Detaili painutustemplite ja -matriitside projekteerimine	01.05.2021
3.	Lõputöö kirjalik vormistamine	22.05.2021

**Töö keel:** eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "26" mai 2021a

**Üliõpilane:** Oskar Protsin ..... ".....".....201....a  
/allkiri/

**Juhendaja:** Martin Eerme ..... ".....".....201....a  
/allkiri/

**Konsultant:** ..... ".....".....201....a  
/allkiri/

**Programmijuht:** Martin Eerme ..... ".....".....201....a  
/allkiri/

*Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel*

# SISUKORD

SISUKORD.....	5
EESSÕNA .....	7
SISSEJUHATUS .....	8
1 ETTEVÕTTE TUVUSTUS.....	9
2 ANALÜÜSITAV DETAIL.....	11
2.1 Analüüsitava detaili tutvustus.....	11
2.2 Analüüsitava detaili ettevalmistus .....	12
2.3 Analüüsitava detaili kirjeldus.....	13
3 ANALÜÜSITAVA DETAILI VORMITAVUSE ANALÜÜS.....	18
3.1 Painutusoperatsiooni tagasipainde teoreetiline seletus .....	18
3.2 Analüüsitava detaili tagasipainde analüüs .....	19
4 ANALÜÜSITAVA DETAILI PINNALAOTUSE ASETUS TOORMATERJALIL.....	23
5 ANALÜÜSITAVA DETAILI PAINUTUSSKEEM.....	25
6 ANALÜÜSITAVA DETAILI PAINDEELEMENTIDE PROJEKTEERIMINE.....	27
6.1 Esimese tagasipainde templi analüüs.....	27
6.2 Teise ja kolmanda tagasipaindega templi analüüs .....	29
6.3 ANALÜÜSITAVA DETAILI PAINUTUSTEMPLITE JA PAINUTUSMATRIITSIDE PROJEKTEERIMINE .....	33
KOKKUVÕTE .....	34
SUMMARY.....	35
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	36
LISAD .....	38
LISA 1 Analüüsitava detaili joonis	
LISA 2 Terase S550 katselise parameetrid	
LISA 3 Tempel 1 joonis	
LISA 4 Matriits 1 joonis	
LISA 5 Tempel 2 joonis	
LISA 6 Tempel 3 joonis	
LISA 7 Matriits 3 joonis	
LISA 8 Tempel 4 joonis	
LISA 9 Matriits 4 joonis	
LISA 10 Tempel 5 joonis	
LISA 11 Matriits 5 joonis	
LISA 12 Tempel 6 joonis	
LISA 13 Matriits 6 joonis	
LISA 14 Tempel 7 joonis	

LISA 15 Matriits 7 joonis  
LISA 16 Tempel 8 joonis  
LISA 17 Matriits 8 joonis  
LISA 18 Tempel 9 joonis  
LISA 19 Matriits 9 joonis  
LISA 20 Tempel 10 joonis  
LISA 21 Matriits 10 joonis  
LISA 22 Tempel 11 joonis  
LISA 23 Matriits 11 joonis  
LISA 24 Tempel 12 joonis  
LISA 25 Matriits 12 joonis

## **EESSÕNA**

Käesoleva lõputöö teema küsiti ettevõttest AS Norma sooviga kirjutada lõputöö teemal, mis põhineks terase painutamise uurimisel.

Autor töötab töö kirjutamise perioodil antud ettevõttes painutusstantsimise protsessiinsenerina. Töökäigus analüüsitakse ühe ettevõttes AS Norma poolt toodetava detaili painutamisoperatsioone ning projekteeritakse vastavalt analüüsile detaili tootmiseks vajalikud painutuselemendid.

Käesolev magistritöö on kirjutatud Taltechi mehaanika ja tööstustehnika instituudi professori Martin Eerme juhendamisel.

Avaldan tänu Martin Eermele, kes juhendas töö tegemist ja aitas lahendada selle käigus tekkinud probleeme. Samuti tänan Pavel Morgunovi ja Indrek Kioleini, kellega oli võimalik konsulteerida töös kasutatava tarkvara kasutamise ning stantsimise printsiipide teemadel.

Võtmesõnad: lehtmetsall, terase painutamine, stantsimine, magistritöö.

## SISSEJUHATUS

Magistritöö eesmärgiks on uurida terase painutamist Siemens NX 12 tarkvaraga selleks, et optimeerida terase painutus stantsi projekteerimis- ja valmistamisprotsessi ning detaili tootmise materjali kulu. Anlüüsiks valiti AS Norma poolt pakutud detaili painutamisoperatsioonid.

Metallitööstusettevõtetes lähtutakse terase painutus stantside projekteerimisel tihti ainult varasemast kogemusest ning reaalse katsete tulemustest. Ainult selliste tootearendusmeetodite kasutamise nõrkadeks külgedeks on see, et nende meetodite tõttu kulutatakse palju liigseid majanduslikke ja ajalisi ressursse ning enamasti ei ole ka katsetest kogutud teadmised dokumenteeritud ehk need teadmised lahkuvad ettevõttest koos inimestega.

Eelnevalt kirjeldatud probleemi põhjal analüüsitakse antud magistritöös terasest detaili painutamist Siemens NX 12 tarkvaraga, selleks, et hoida kokku majanduslikke ja ajalisi ressursse painutusstantsi tootmisel, detailide tootmisel ning dokumenteerida uurimusest saadud tulemused.

Siemens NX 12 tarkvaras kasutatakse töö koostamiseks moodulit „Progressive Die Wizard“, mis on eelkõige mõeldud progressiivstantside projekteerimiseks. Antud moodulis kasutatakse tööriistu, mis aitavad koostada detaili tootmise stantsimissamme, detaili kontuuri optimaalset paigutust lehtmetailil, arvutada vormimisel tekkinud pingeid, deformatsioone ja tagasipaindeid. Lisaks kõikidele analüüsi teostatavatele tööriistadele kasutatakse antud moodulis tööriistu, mis aitavad projekteerida vajalike painutus- ja vormimisoperatsioonide jaoks painutustempleid ja -matriitse. Analüüsi tulemuste põhjal koostatakse painutuselementide mudelid ja joonised.

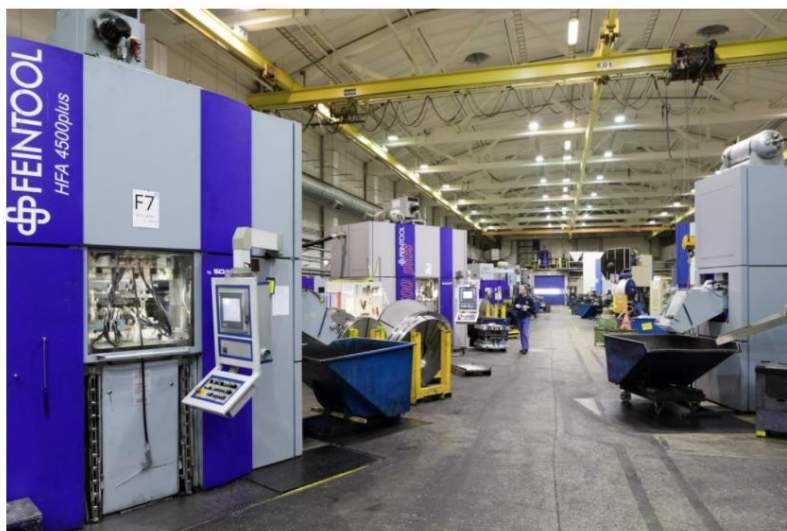
# 1 ETTEVÖTTE TUVUSTUS

AS Norma on Eestis registreeritud ettevõtte, mis toodab autode turvasüsteemide komponente. AS Norma kuulub rahvusvahelisse korporatsiooni nimega Autoliv, mis on juhtiv sõidukite turvavarustuste tootja terves maailmas. Nimega AS Norma eksisteerib aastast 1931 [1, 2].

AS Norma tootmisportsessideks on lehtmetaili tavastantsimine, silelõike stantsimine, stantsitud detailide painutamine, terase karastamine, terasest detailide galvaaniline katmine ning plastmassi survevalu. Peale komponentide valmistamise tegeleb AS Norma ka auto turvaüsteemide koostamisega. Norma tootekataloogi kuulub üle 150 erineva tootekategooria. Lisaks sellele tegeleb Norma endale löikestantside, painutusstantside ja plastivaluvormide tootmisega.

Lehtmetaili tavastantsimine võimaldab toota ühe ja sama stantsiga tooteid, mille valmistamiseks on vaja palju erinevaid samme ning võimalus on kasutada nii löike- kui ka painutusoperatsioone [3].

Silelõike stantsimist kasutatakse detailide jaoks, kus on vajalik tagada detailidel suur täpsuse ning hea väline ilme. AS Norma stantsimisjaoskond on näidatud Joonis 1.



Joonis 1. AS Norma stantsimisjaoskond

Osasid Norma terasest stantsitud tooteid karastatakse, selleks, et nende tugevusomadusi parendada. Norma kasutab karastamiseks nelja karatusliini, kus kuumutamistemperatuurid on vahemikus 850-900 °C. AS Norma illustreeriv terase kararustusliini pilt on näidatud Joonis 2 [4].



Joonis 2. AS Norma karastusliin

Enamik AS Norma tooteid kaetakse galvaanilise katmise meetodiga. Detailide pinnakatmine on vajalik nende korrosioonikindluse tagamiseks ning visuaalseks väljanägemiseks. Ettevõtte kasutab kahte liiki pinnakatteid – tsink ja nikkel-kroom [5].

Ettevõtte plastmassi survevalu osakonnas toodetakse nii täisplastist tooteid kui ka metallist sisuga tooteid, mis on plastiga kaetud. Plastmassi survevaluks kasutatakse kahte liiki seadmeid: vertikaalsed käsitsi laetavad ja automatiseeritud horisontaalselt laetavaid. Toodanud kvaliteedi tagamiseks kasutatakse kontrollkaameraid [6].

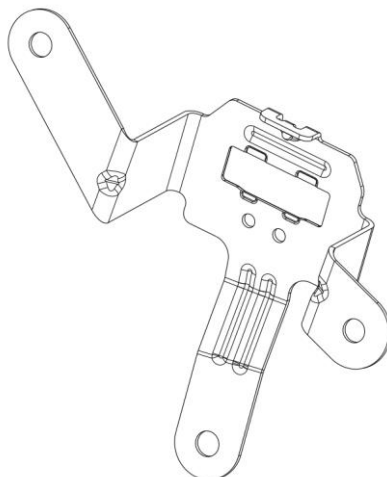
Koostamisosakonnas koostatakse eelnevalt loetletud osakondade protsesside tulemusena valminud detailidest tooteid. Koostatavate toodete näideteks on näiteks: sõidukite turvarihma rullid, lukud, turvarihmade kõrgusregulaatorid [7].

AS Norma valmistab endale ise tööriistu selleks, et enda tooteid toota. Selle jaoks valmistatakse silelöike-, tava ja painutusstantse. Lisaks sellele plastmassi suvevalu- ja ülevaluvorme. Tööriistade valmistamiseks kasutatakse palju erinevaid metalltötluse meetodeid: CNC-freesimine, -treimine, traat- ja mahterosiooni, tasa- ja ümarlihvimist, laserkeevitust ja termilist töötlust [8].

## 2 ANALÜÜSITAV DETAIL

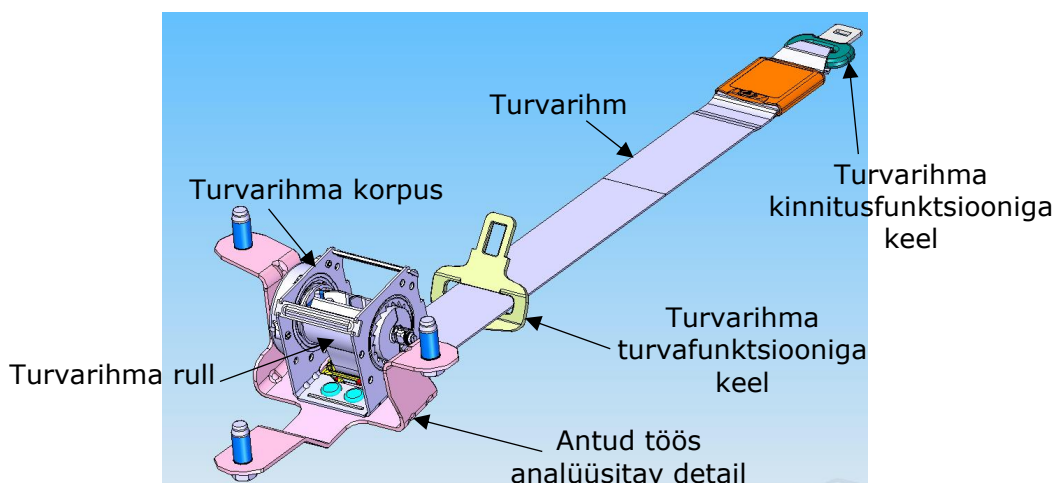
### 2.1 Analüüsitava detaili tutvustus

Antud töös analüüsitavaks detailiks on üks AS Norma toodetav detail, mis on näidatud Joonis 3. Detaili joonis on näidatud Lisas 1.



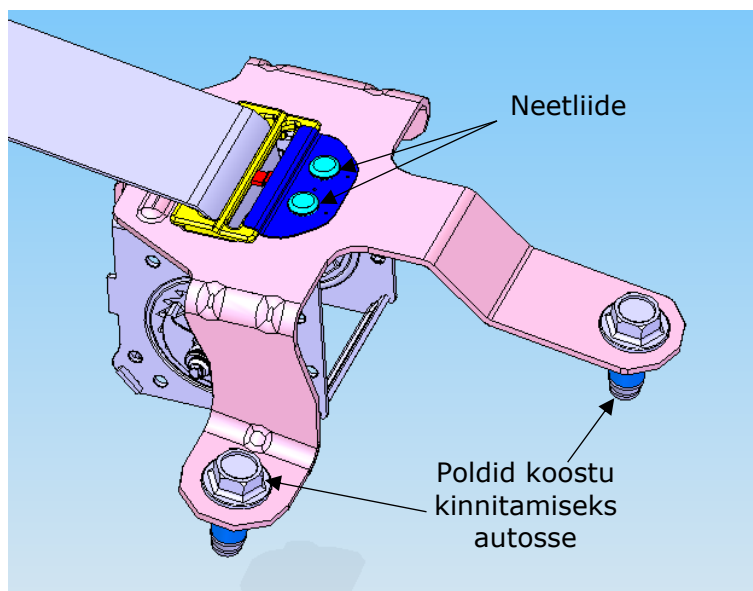
Joonis 3. Metalli painutamise analüüsiks kasutatav detail

Antud detaili kasutatakse sõiduauto tagumise keskmise istme turvarihma kinnitamiseks sõiduautosse. Turvarihma koost on näidatud Joonis 4. Analüüsitava detaili külge kinnitatakse korpus, kus sees on rull, mille ümber on keritud turvarihm. Antud turvarihm on kahe turvarihma keelega, millest üks on mõeldud turvafunktsiooniks ning teine on mõeldud rihma kinnitamiseks sõiduautolakke. Sõiduautolakke on vaja turvavöö kinnitada, kui seda ei kasutata, kuna sõiduauto tagumist keskmist istet kasutatakse harva, siis enamasti ei ole vajadust seda turvavööd sõiduautos kasutada ning selletõttu on tehtud tootele selline funktsioon, et see ära peita.



Joonis 4. Analüüsitava detaili paigutus toote koostus vaade 1

Joonis 5 ja Joonis 6 on näha, et detaili kolme ringikujulisse funktsionaalsesse avasse pannakse poldid koostu kinnitamiseks autosse. Detaili keskel olevasse avasse kinnitatakse plastikust lindijuhtija, mis suunab autos turvarihma õiges suunas. Lindijuhtija tehakse plastikust, sest terasest serv kahjustab turvalinti. Joonis 5 on näha, et lindijuhtija kinnitamiseks kasutatakse neetliidet. Lindijuhtija kinnitatakse kahe neediga analüüsitava detaili kahte ümarasse avasse.



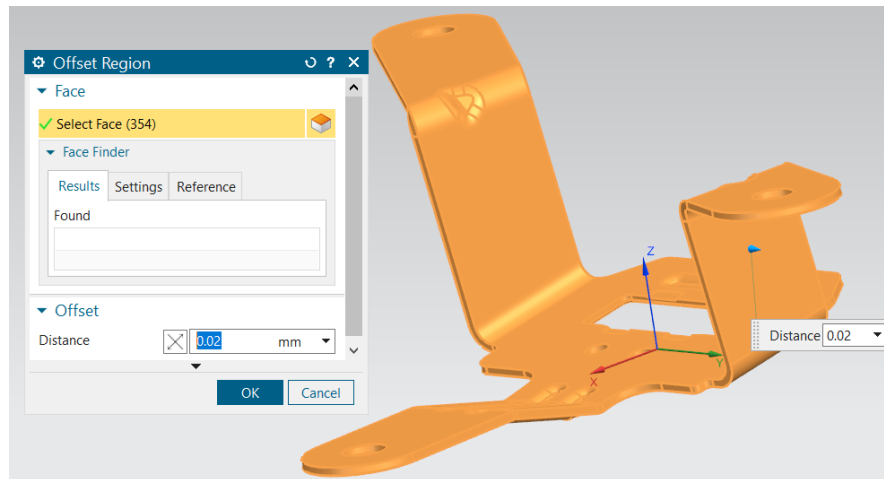
Joonis 5. Analüüsitava detaili paigutus toote koostus vaade 2

Antud töös analüüsitakse detaili, mis on mõeldud turvarihma kinnitamiseks sõiduautosse.

Detaili toodetakse järjestikstantsimisprotsesiga. Lisaks rakendatakse detaili töötlemiseks abrasiivtöötlust selleks, et eemaldada detaililt teravad servad. Nüristatud servade nõue tuleneb detaili joonisest, mis on näidatud Lisas 1. Abrasiivtöötlusele järgneb detaili pinnakatmine detaili tootmisel aksutatakse elektrolüütilist pinnakatmist.

## 2.2 Analüüsitava detaili ettevalmistus

Detaili paksus originaalmudelis on 2,5 mm ning joonisel on märgitud detaili pinnakatmismeetodiks elektrolüütiline pinnakatmine, kus kasutatakse selle protsessi jaoks vastavat musta värvi. Detail toodetakse S550MC terasest mille paksus on 2,46 mm, see tähendab, et detaili pinnale on planeeritud lisada pinnakatet 0,02 mm. Selletõttu tuleb teha originaal mudelist nihkega mudel. Selle jaoks kasutatakse Siemens NX tarkvaras käsku „Offset Region“ väärtusega 0,02 mm, mis teeb mudeli materjali paksust pinnakate võrra õhemaks ning detaili avasi suuremaks [9]. Nihkega mudel on näidatud Joonis 6.

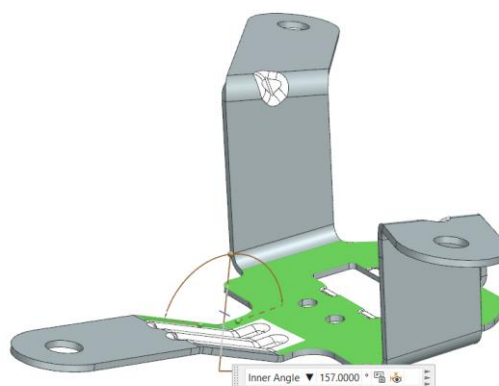


Joonis 6. Analüüsitava detaili originaal mudeli nihe

## 2.3 Analüüsitava detaili kirjeldus

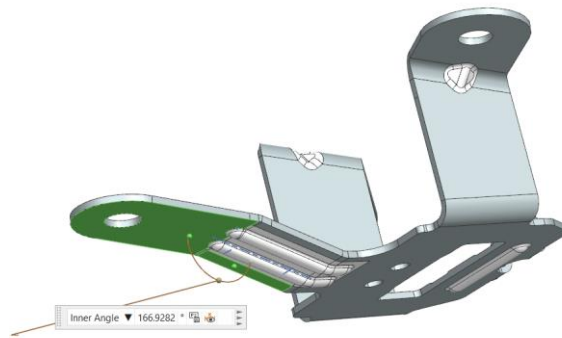
Antud detaili toodetakse terasest S550MC, mille teoreetiline tõmbetugevus on 600-760 MPa ja voolapiir on 550 MPa [10]. Katselised materjali parameetrite tulemused on näidatud Lisas 2. Tegemist on pigem suure tõmbetugevuse väärtusega terasega, mida kasutatakse metallist painutatavate toodete tegemiseks. Tõenäoliselt raskendab see detaili painutusoperatsioone ning muudab detaili painutamise tavapärasevast keerukamaks.

Antud töös analüüsitakse detaili 8 painutusoperatsiooni ja 8 vormimisoperatsiooni. Painutusoperatsioonid on näidatud joonisel 7 kuni 14. Vormimisoperatsioonid on näidatud joonistel 15 kuni 17.



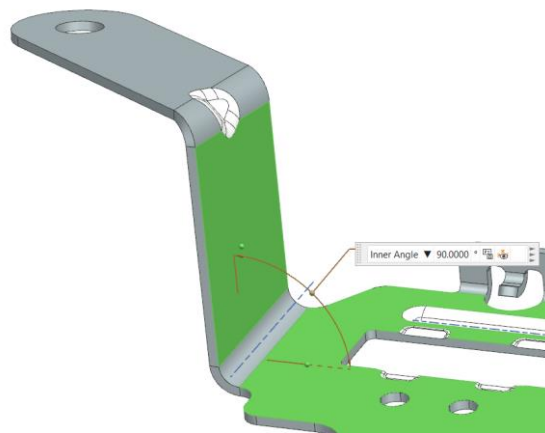
Joonis 7. Analüüsitava detaili paine 1

Joonis 7 on illustreeritud detaili esimene paine.



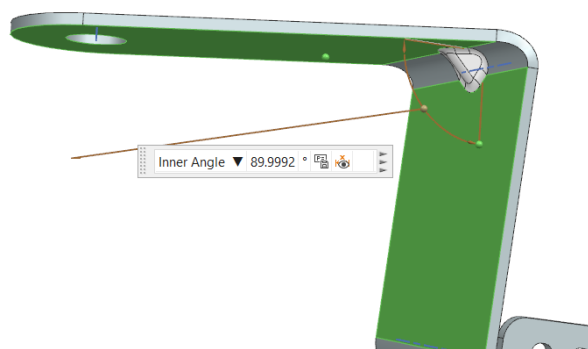
Joonis 8. Analüüsitava detaili paine 2

Joonis 8 on illustreeritud detaili teine paine.



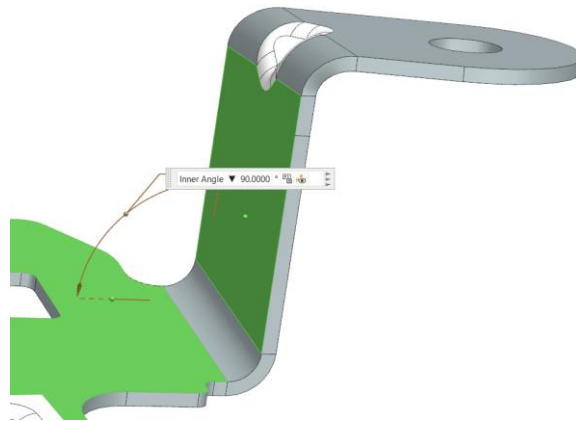
Joonis 9. Analüüsitava detaili paine 3

Joonis 9 on illustreeritud detaili kolmas paine.



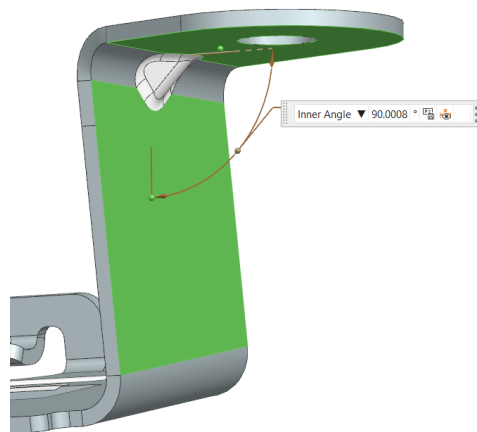
Joonis 10. Analüüsitava detaili paine 4

Joonis 10 on illustreeritud detaili neljas paine.



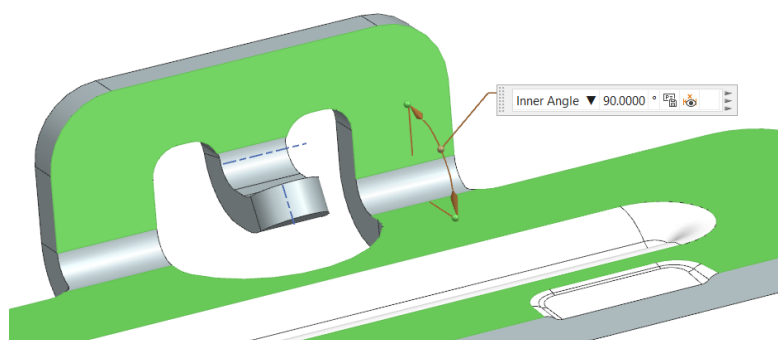
Joonis 11. Analüüsitava detaili paine 5

Joonis 11 on illstrereitud detaili viies paine.



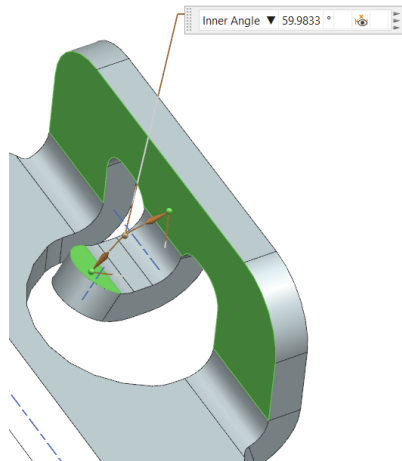
Joonis 12. Analüüsitava detaili paine 6

Joonis 12 on illustreeritud detaili kuues paine.



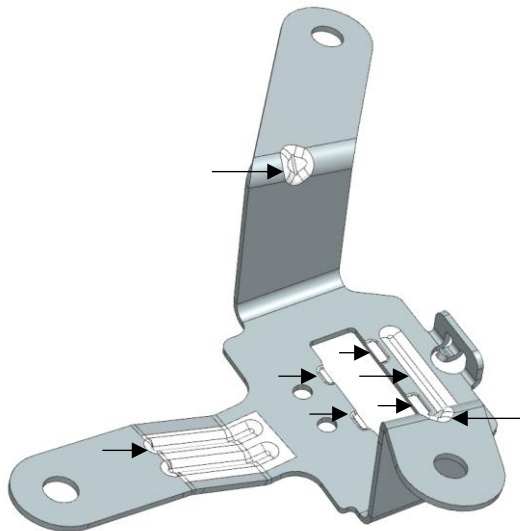
Joonis 13. Analüüsitava detaili paine 7

Joonis 13 on illustreeritud detaili seitsmes paine.



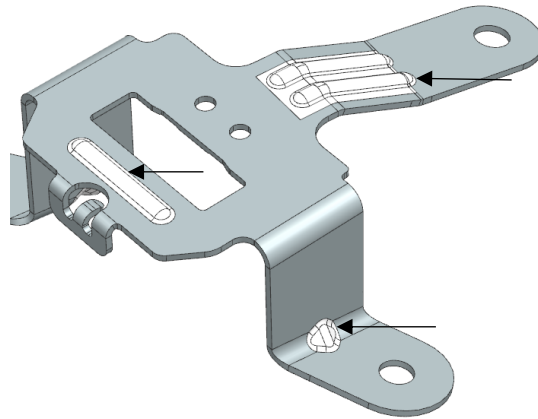
Joonis 14. Analüüsitava detaili paine 8

Joonis 14 on illustreeritud detaili kaheksas paine.



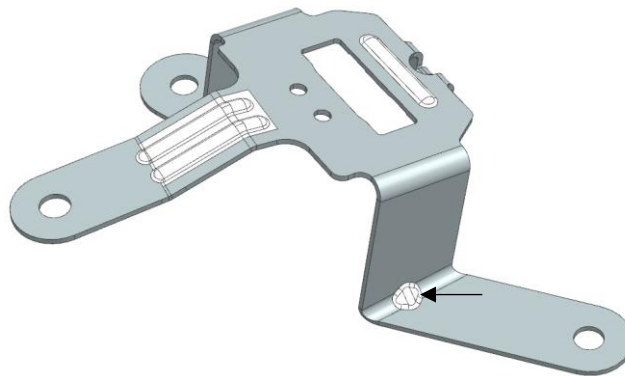
Joonis 15. Analüüsitava detaili vormingute templi pooled

Joonis 15 on illustreeritud detaili vormingute templi pooled.



Joonis 16. Analüüsitava detaili vormingute matriitsi pooled 1

Joonis 16 on illustreeritud detaili vormingute matriitsi pooled.



Joonis 17. Analüüsitava detaili matriitsi pooled 2

Joonis 17 on illustreeritud detaili matriitsi pooled.

## 3 ANALÜÜSITAVA DETAILI VORMITAVUSE ANALÜÜS

### 3.1 Painutusoperatsiooni tagasipainde teoreetiline seletus

Kõikide painutatavate detaili tootmise juures tuleb arvestada sellega, et toimub detaili tagasipaine. See tähendab seda, et kui lehtmetsall suruda painutusstantsi templi ja matriitsi vahele ning see sealt vabastada, siis pärast lehtmetsalli vabastamist osa painutamisest paindub tagasi ning detail ei säilita templi ja matriitsi geometriat. Painutatava detaili tagasipaine oleneb painutatava materjali füüsikalistest omadustest, materjali paksusest, painutusoperatsioonide arvust, painderaadiusest ja painutusprotsessi tüübist. Metalli painutamisel venitatakse painde välisel pinnal molekulid lahti ning painde sisemisel pinnal surutakse molekulid kokku. Kui painutatav detail vabastatakse templi ja matriitsi pool rakendatava jõu alt, siis lahti venitatud molekulid tõmbuvad üksteise poole tagasi ning kokku surutud molekulid tõukuvad üksteisest eemale. Selle nähtuse tagajärjel tekib painutatud detaili tagasipaine. Sellist protsessi kutustakse elastseks deformatsiooniks. Kuigi detaili painutamisel kutsutakse esile materjalis plastne deformatsioon, siis tagasipaine toimub põhjusel, et osad aatomid ei ole jõudnud plastse deformatsiooni piirini ning toimub elastne deformatsioon [11].

Kuna metalli tagasipaine võib põhjustada selle, et toode ei vasta joonise mõõtmetele, siis painutatava toote tootmisel tuleb sellele probleemile leida lahendus. Tagasipainde kompenseerimiseks tootmises on olemas erinevaid võimalusi: Ülepainutamine suurema nurga alla, ülepainutamine mitmes etapis, painutamisjõu suurendamine.

Kolmest eeltoodud variandist kõige ebastabiilsem variant on painutusjõu suurendamine, sest enamik painutuspressidel kasutatakse hüdraulilisi silindreid ja hüdraulilise silindri jõud arvutatakse järgneva valemiga [12]:

$$F_H = p \cdot A \quad (3.1)$$

kus  $F_H$  – Hüdraulilise silindri poolt avaldatav jõud, N,

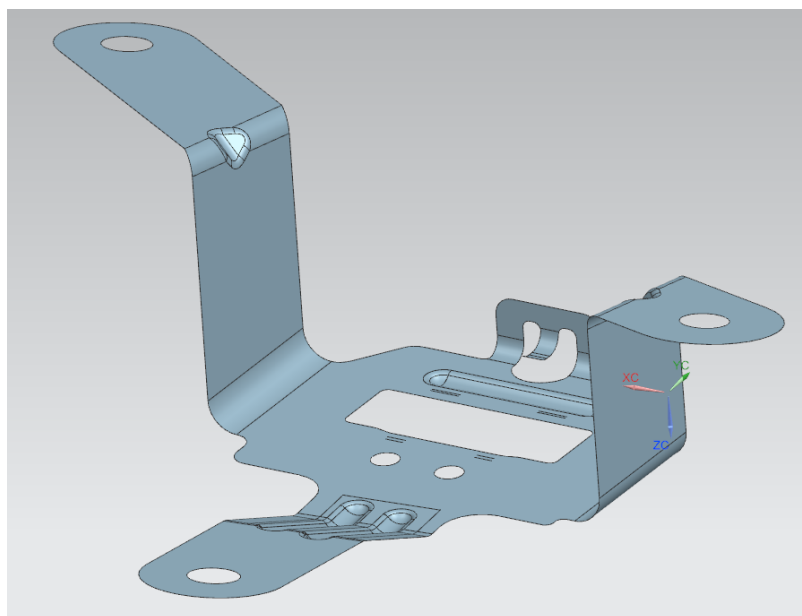
$p$  – Hüdrauliline surve silindrile,  $\frac{N}{m^2}$ ,

$A$  – Hüdraulilise silindri pindala,  $m^2$  .

Kuna hüdraulises süsteemis on  $1 \frac{N}{m^2}$  surve kõikumine tavaline nähtus ning terase painutuspresside silindrite pindalad on suured [13], siis nende kahe arvu korrutamisel tekkinud arvväertuseline jõud on suur. Selle tõttu on pressi jõud suures vahemikus kõikuv ning ei ole hea parameeter, millega detaili tagasipainet reguleerida. Töökindlam on kasutada ülepainutamist või painutamist mitmes painutussammus.

### 3.2 Analüüsitava detaili tagasipainde analüüs

Analüüsitava detaili tagasipainde analüüsiks kasutati Siemens NX tarkvara tööriista „Analyze Formability – One-Step“ tööriista. Kuna tööriist vajab sisendiks vormitava detaili keskpinda, siis kõigepealt tehti „Midsurface by Face Pairs“ tööriistaga detailist keskpind, mis on näidatud Joonis 18.



Joonis 18. Analüüsitava detaili keskpind

Detaili keskpinnaga alustati „Analyze Formability – One-Step“ tööriistaga tagasipainde analüüsi. Selleks, et programm teeks analüüsitava detailile vormitavuse analüüsi, selleks tuleb anda programmile ette selleks vajalikud parameetrid. Nendeks parameetriteks on detaili materjali tüüp, materjali paksus, vormimiseks kasutatav jõud, materjali elastsusmoodul, materjali tihedus, „Poisson’s Ratio“, materjali voolepiir, tsükline tugevuskoeffitsient ja lõplike elementide meetodi elemendi suurus.

Analüüsi materjaliks valiti valtsitud teras, mille täpsemad omadused sisestatakse programmile eelmisest lõigus loetletud materjali parameetritega. Tulenevalt alapeatüki 2.1 põhjal on materjali paksuseks 2,46 mm.

Detaili stantsimiseks kasutatakse stantsimispressi, mille jõud on 400 tonni. Programmi jaoks tuleb see teisendada ümber kilonjuutoniteks. Teisendus on näidatud järgnevas arvutuses:

$$F_p = m \cdot g, \quad (3.2)$$

kus  $F_p$  – stantsimispressi poolt rakendatav jõud, kN,

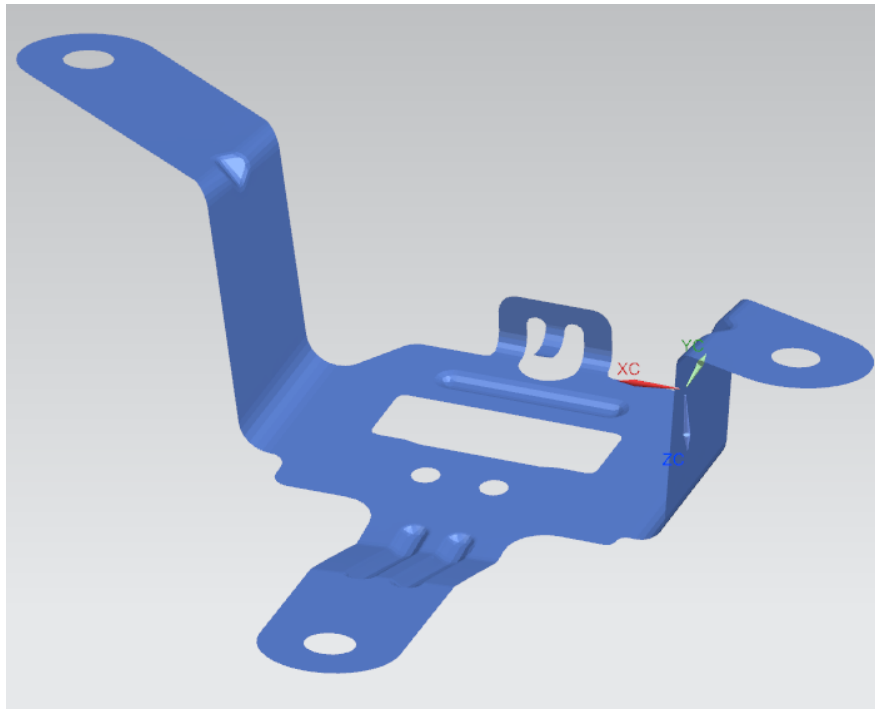
$m$  – mass, kg,

$g$  – raskuskiirendus,  $\frac{m}{s^2}$ .

$$F_p = 400 \cdot 10^3 \cdot 9,81 = 3924000 \text{ N} = 3924 \text{ kN}$$

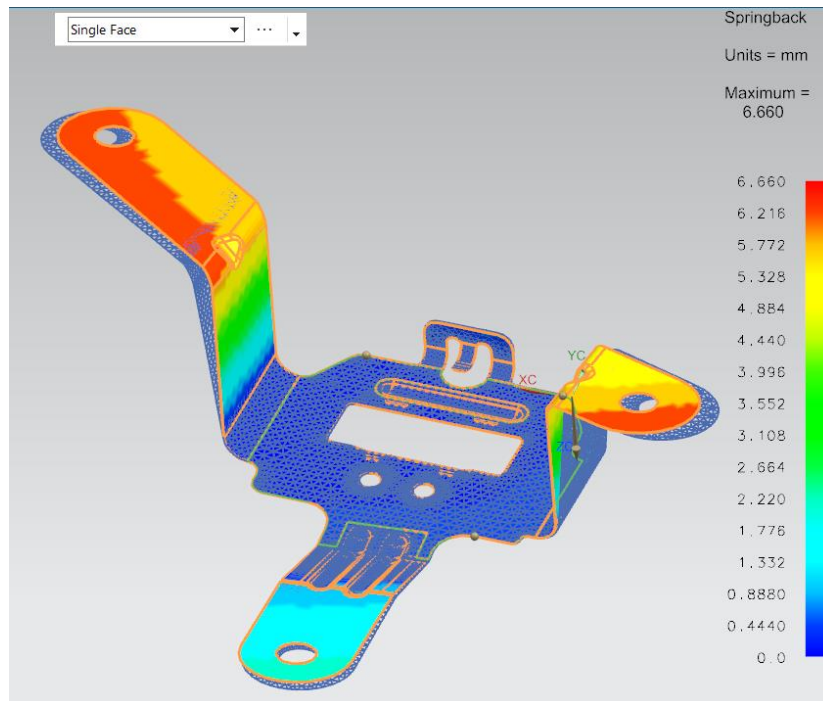
Materjali elastusmooduliks sisestati 210000 MPa ning materjali tiheduseks sisestati  $7850 \frac{kg}{m^3}$  [14]. Materjali „Poisson Ratio“ sisestati programmi 0.30 [15]. Kuna toote tootmiseks kasutatav materjal on teras S550, siis materjali voolepiiriks sisestati 550 MPa. Materjali tükiliseks tugevuskoeffitsendiks sisestati programmi 2211 MPa [16]. Lõplike elementide meetodi elemendi suuruseks valitakse 3 mm, sest antud analüüsi juures peab see olema programmi spetsiifika tõttu suurem materjali paksusest.

Analüüsi tulemusena arvutab Siemens NX programm välja uue keskpinna, mis on näidatud Joonis 19.



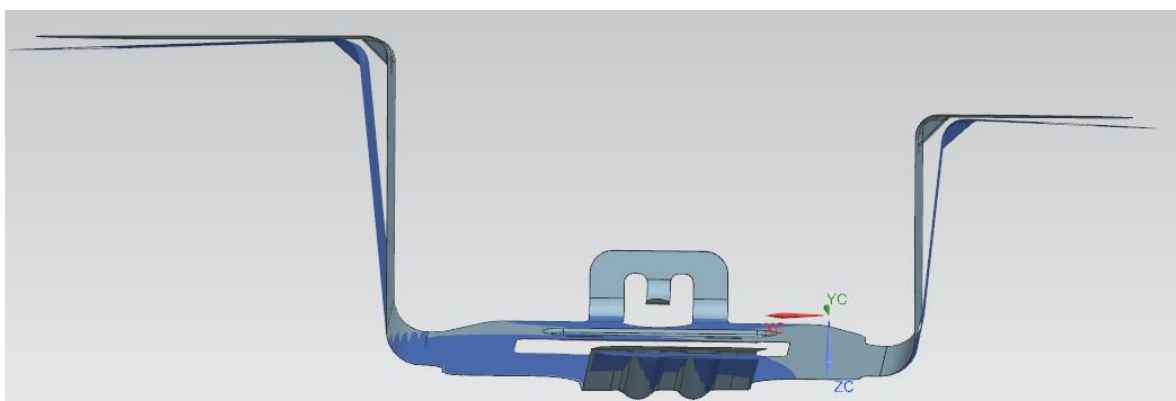
Joonis 19. „Analyse forability – One-step“ analüüsi tulemuse keskpind

Vormitavuse analüüsiga saab analüüsida vormimisel tekkinud materjali paksuse muutust, pingeid, venivust, tagasipainet. Lisaks moodustab tööriist painutatava detaili pinnalaotuse. Antud töös kasutatakse detaili paindeoperatsioonide tagasipainde analüüsi. Tagasipainde analüüsi tulemus on näidatud Joonis 20.

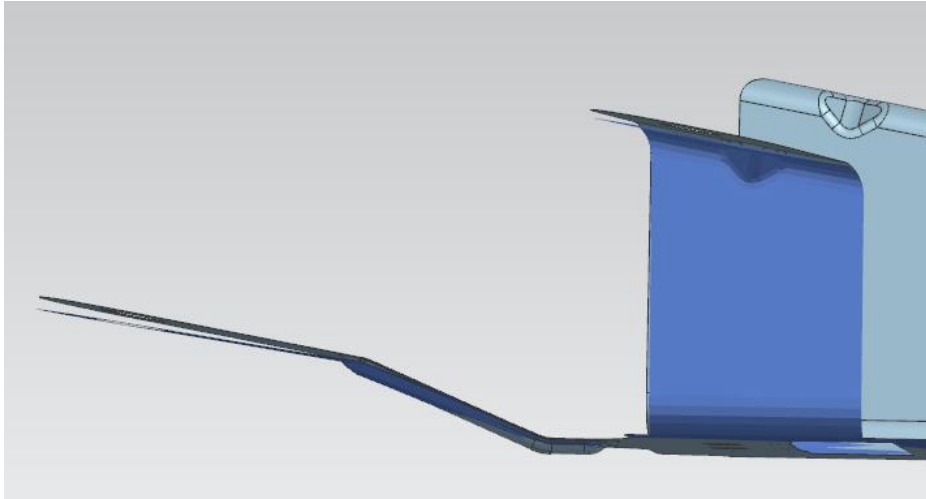


Joonis 20. „Analyse formability – One-step“ tagasipainde analüüsi tulemus

Tagasipainde analüüsi tulemus näitab, et maksimaalne tagasipaine on 6,66 mm. Analüüsides tulemusi ning vaadates Joonis 21 ja Joonis 22 näidatud vormitud detaili kuju, siis võib järeldada, et Joonis 8, Joonis 9 ja Joonis 11 näidatud painded on kõige suuremate tagasipainetega.



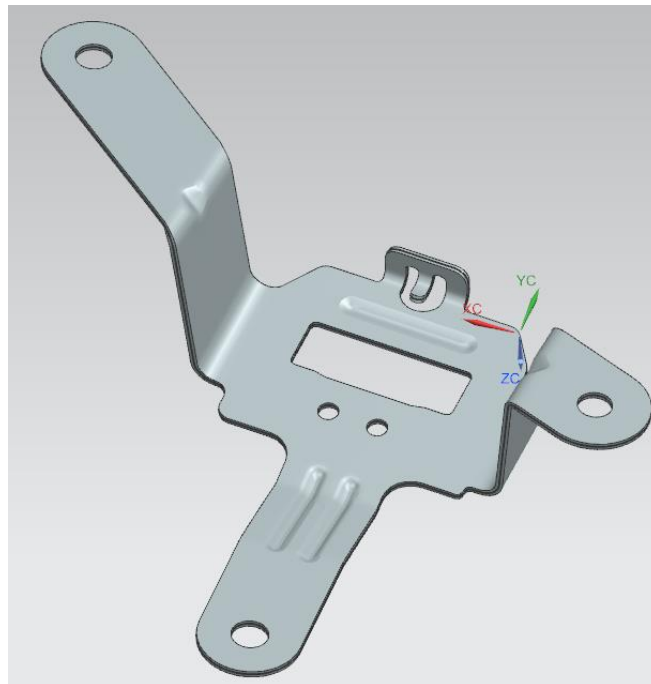
Joonis 21. „Analyse formability – One-step“ tagasipainde analüüsi kuju 1



Joonis 22. „Analyse formability – One-step“ tagasipainde analüüsi kuju 2

Tagasipaine analüüsi tulemusena võime öelda, et Joonis 8, Joonis 9, Joonis 11 illustreeritud painetel tuleb templite ja matriitside projekteerimisel arvestada tagasipaindega ning neid paindeoperatsioonidel ülepainutada.

Seejärel kui tagasipainde analüüs on tehtud, siis analüüsi tulemusel tekkinud keskpinna järgi tehakse „Facet modeling“ keskkonnas keskpinnast uuesti tagasi mudel, kus on algne materjali paksus 2,46 mm. Mudel on näidatud Joonis 23.



Joonis 23. „Analyse formability – One-step“ tagasipainde analüüsi mudel

Joonis 23 näidatud mudelit kasutatakse suurte tagasipainetega paindetemplite ja paindematriitside tegemisel.

## 4 ANALÜÜSITAVA DETAILI PINNALAOTUSE ASETUS TOORMATERJALIL

Antud peatükis seletatakse, kuidas oleks õige paigutada antud toode toormaterjali lehtmetailile. Kuigi käesolev töö ei sisalda antud detaili lõikeoperatsioone, siis on detaili pinnalaotuse paigutus lehtmetailile oluline, sest lõigetele järgnevad painutusoperatsioonid ning detail on samas asendis, mis lõikeoperatsioonidel.

Detaili paigutamisel lehtmetailile on lähtutud järgnevatest printsiipidest: Lõikeoperatsioonide kriteeriumid, materjali kokkuhoid detaili tootmisel ja stantsi suurus.

Antud detaili materjali paksus on 2,46 mm. Lõikestantsimisele spetsiifilised kriteeriumid määravad ära, et detaili lõige lehtmetaili servast peab olema vähemalt 3 materjali paksust [17]. Minimaalne detaili serva kaugus lehtmetaili servast on näidatud järgnevas arvutuses:

$$l = 3 \cdot s, \quad (4.1)$$

kus  $l$  – detaili lõikeserva kaugus lehtmetaili servast, mm,

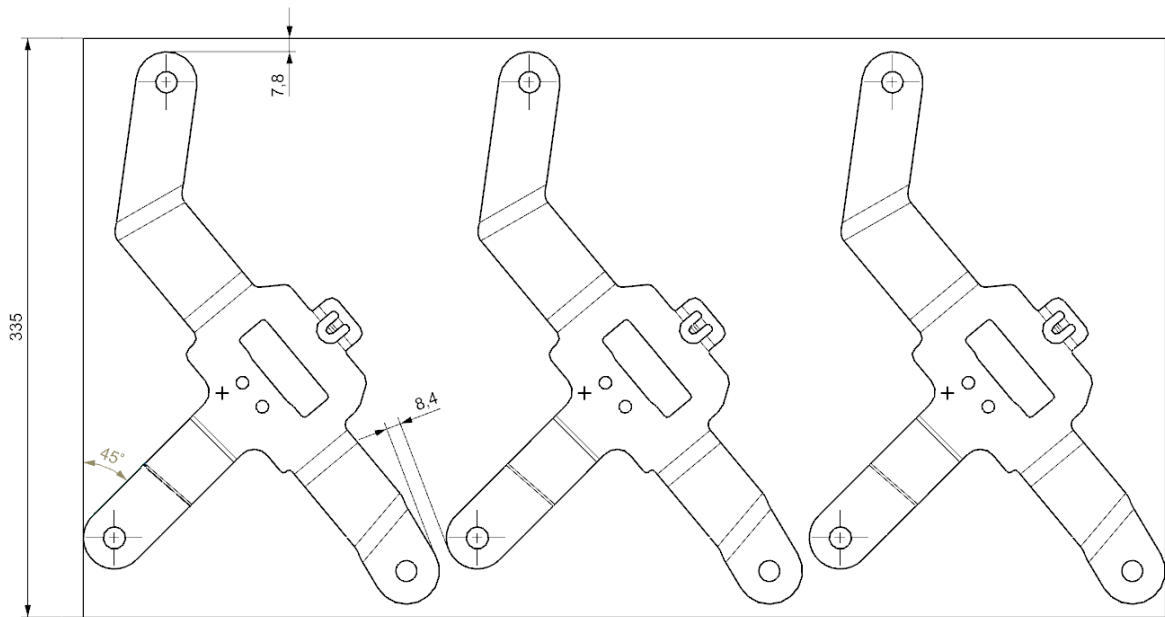
$s$  – materjali paksus, mm.

$$l = 3 \cdot 2,46 = 7,38 \text{ mm}$$

Antud arvutusest selgub, et minimaalne lõikeserva kaugus lehtmetaili servast on 7,38 mm.

Järgnevalt võeti arvesse, et millisel detaili asetusel kulub tootmisel võimalikult vähe materjali jääke ning millise asetuse korral tuleb stants kõige lühem ehk seda on kõige odavam toota, sest kulub vähem materjali stantsi tegemiseks. Nende kriteeriumite korral on kõige mõistlikum detail paigutada lehtmetaili suhtes 45 kraadise nurga alla. Lisaks tuli materjali lehe valikul optimeeritud tulemust ümardada vastavalt sellele, millises mõõdus materjale on saadaval, sest mitte standardsed mõõtmed lisavad toormaterjalile hinda juurde.

Elenevate arvutuste ning argumentide põhjal valiti lehtmetaili laiuseks 335 mm. Analüüsitava detaili asend toormaterjali suhtes on näidatud eskiisilis, mis on Joonis 24.

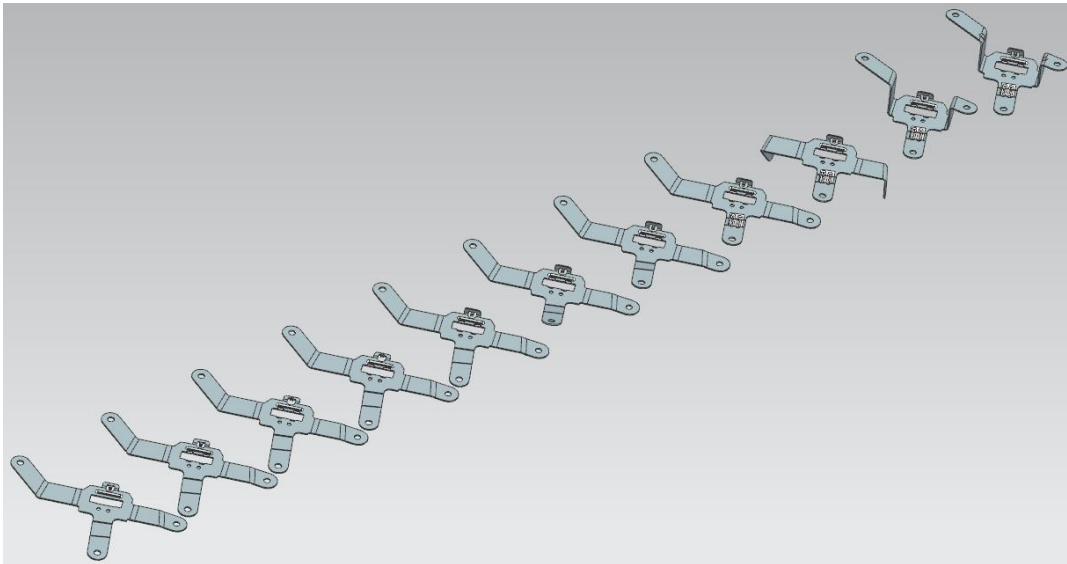


Joonis 24. Analüüsitava detaili asetus lehtmetailil

Selline detaili paigutus on optimaalne kui võtta arvesse stantsi suurust, tootmisjääkide mahtu ning stantsimist iseloomustavaid printsiipe.

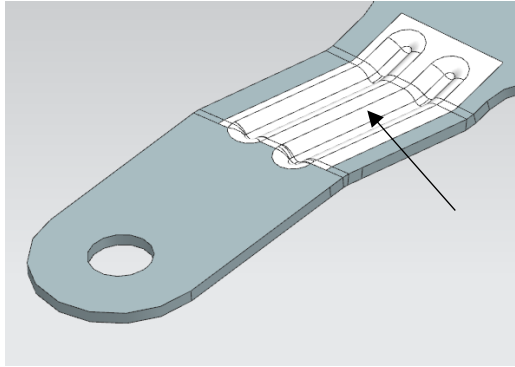
## 5 ANALÜÜSITAVA DETAILI PAINUTUSSKEEM

Peatükis 4 analüüsi detaili asendit lehtmetailil. Pärast seda analüüsi on võimalik koostada detaili painutuskeem. Detaili painutuskeemi koostamiseks kasutatakse Siemens NX „Progressive Die Wizard“ keskkonnas tööriista „Strip Layout“. Antud tööriistale peab andma sisendiks painutussammu pikkuse, lehtmetaili laiuse, skeemi suuna ning painutusmoodulite arvu. Painutussammu pikkus oleneb detaili pinnalaotuse suurusest. Vastavalt detaili pinnalaotuse paigutusest lehtmetailil on selleks 210 mm. Lehtmetaili laius tuleneb samuti peatükist 4, milleks on 335 mm. Painutusmoodulite arvuks valiti 11. Programm genereerib automaatselt nende põhjal painutuskeemi kasutades lõpptoodet. Kõik tagasipainded tuleb teha manuaalselt igas moodulis eraldi. Koostatud painutuskeem on näidatud Joonis 25.

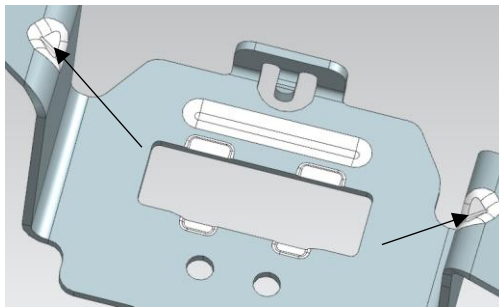


Joonis 25. Analüüsitava detaili painutuskeem

Olulisemad punktid skeemi koostamisel ja painutussammude arvu valimisel on esiteks see, et kaheksandas painutussammus tehtud vorming, mis on näidatud Joonis 26, tuleb teha pärast seda, kui on tehtud painded, mis on näidatud Joonis 7 ja Joonis 8 selleks, et tagada vormingu täpsus. Samuti tuleb teha üheteistkümnendas sammus tehtud vormingud, mis on näidatud Joonis 27 pärast seda, kui on tehtud painutusoperatsioonid, mis on näidatud Joonis 9, Joonis 10, Joonis 11 ja Joonis 12.



Joonis 26. Kaheksanda sammu vorming



Joonis 27. Üheteistkümnenda sammu vormingud

Nende vormingute ja painete selline järjestus on oluline selleks, et tagada vormingute täpsus. Kui teha need painutusoperatsioonid teises järjekorras, siis ei saa tagada vormingute mõõtmete ja positsioonide täpsust.

## 6 ANALÜÜSITAVA DETAILI PAINDEELEMENTIDE PROJEKTEERIMINE

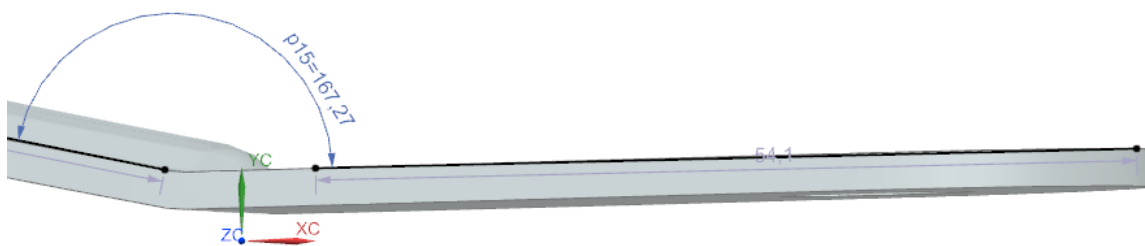
Analüüsitava detaili jaoks projekteeritakse painutustemplid, painutusmatriitsid, vormingutemplid ja vormingumatriitsid. Nende elementide projekteerimiseks kasutatakse Siemens NX „Progressive Die Wizard“ keskkonnas „Special Forming“ tööriista. Painutuselementide joonised on toodud Lisades 3 kuni 25.

Vastavalt alapeatükile 3.2, kus analüüsiti detaili tagasipainet, ei sobi „Special Forming“ tööriistaga projekteeritud painutuselemendid painetele, mis on näidatud Joonis 8, Joonis 9 ja Joonis 11. Need ei sobi, sest „Special Forming“ tööriist ei arvesta detaili tagasipaindega.

Alapeatükis 3.1 seletati lahti erinevad võimalused, kuidas lahendada tagasipainde probleemi tootmisel. Selles töös valitakse lahenduseks ülepainutamise variant. See tähendab, et painded, kus tekib tagasipaine, tuleb algset detaili kuju üle painutada.

### 6.1 Esimese tagasipainde templi analüüs

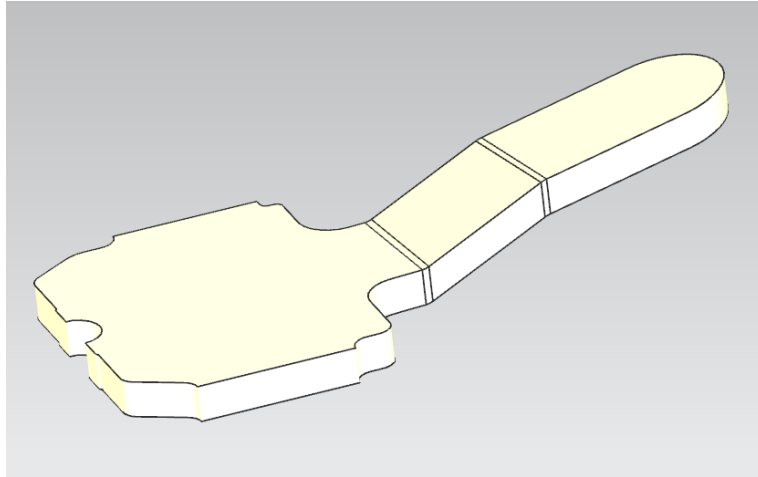
Joonis 8 näidatud paine on 166,93 kraadi. See näitab valmis detaili nurka. Mõõtes alapeatükis 3.2 koostatud tagasipainde mudeli pealt seda nurka saame tulemuseks 167,27 kraadi. Tagasipainde mudeli nurk on näidatud Joonis 28.



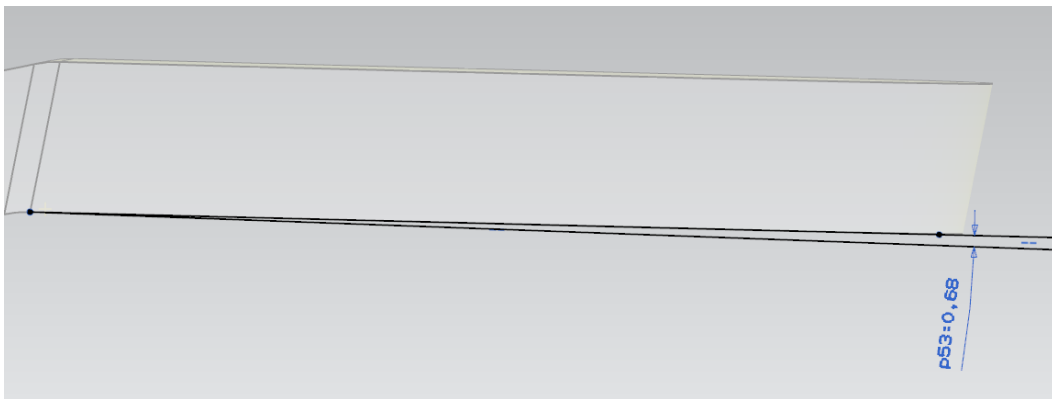
Joonis 28. Esimese tagasipainde nurk

See teeb nurga erinevuseks 0,34 kraadi. Kuigi nurga erinevus on väike, siis see tekitab terve painutatud osa pikkuse peale, 2,3 mm suuruse nihke, mis on näidatud Joonis 22.

Sellest saab järeldada, et „Special Forming“ tööriistaga koostatud templit tuleks muuta kaks korda suurema nurgaga ehk 0,68 kraadi. „Special Forming“ tööriistaga koostatud tempel on näidatud Joonis 29. Templit muudatuse eskiis on näidatud Joonis 30.

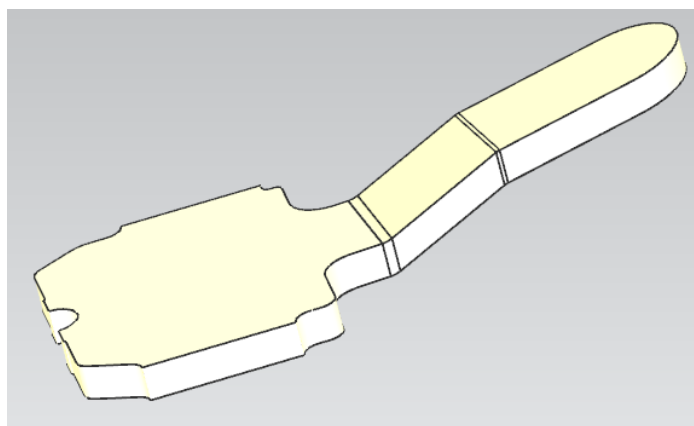


Joonis 29. „Special Forming“ tööriistaga valmistatud esimese tagasipainde tempel

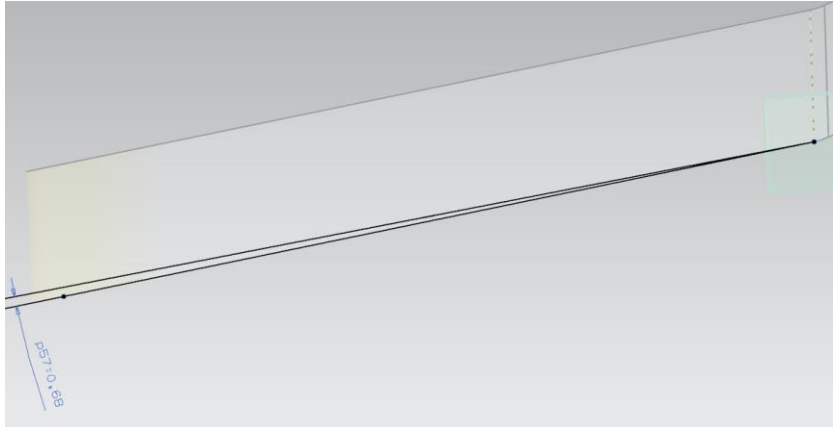


Joonis 30. Vastavalt esimese tagasipainde analüüsile tehtud templi muudatuse eskiis

Templi nurka muudeti 0,68 kraadi suuremaks ning matriitsi nurka tuleb muuta 0,68 kraadi väiksemaks. „Special Forming“ tööriistaga koostatud matriits on näidatud Joonis 31. Matriitsi muudatuse eskiis on näidatud Joonis 32.



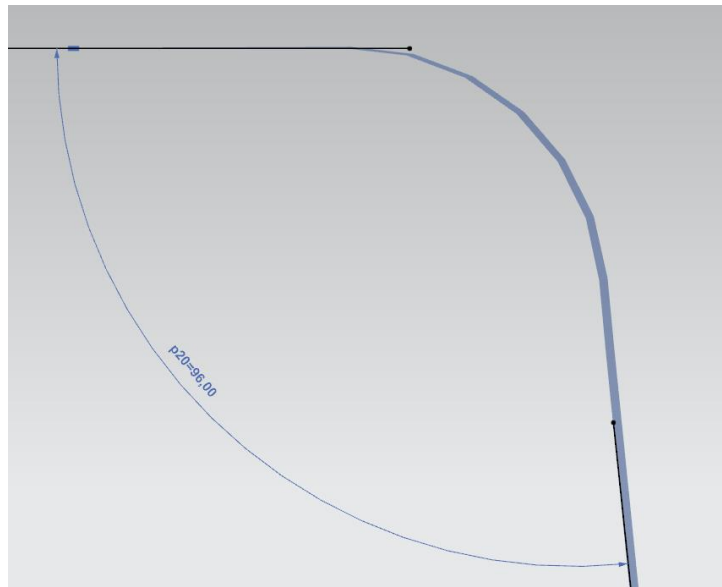
Joonis 31. „Special Forming“ tööriistaga valmistatud esimese tagasipainde matriits



Joonis 32. Vastavalt esimese tagasipainde analüüsile tehtud matriitsi muudatuse eskiis

## 6.2 Teise ja kolmanda tagasipaindega templi analüüs

Joonis 9 näidatud paine on 90 kraadi. See näitab valmis detaili nurka. Mõõtes alapeatükis 3.2 koostatud tagasipainde mudeli pealt seda sama nurka saame tulemuseks 96,00 kraadi. Tagasipainde nurgad on näidatud Joonis 33 ja Joonis 34.

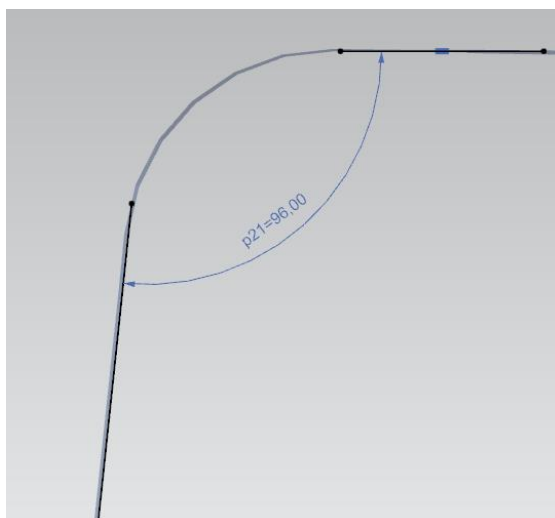


Joonis 33. Teise tagasipainde nurk

See teeb nurga erinevuseks 6 kraadi. See on päris suur erinevus valmis detailiga, kui võrrelda seda detaili tolerantsidega, mis on näidatud toote joonisel. Sellest saab järeldada, et „Special Forming“ tööriistaga koostatud templit tuleks muuta kaks korda suurema nurgaga ehk 12 kraadi.

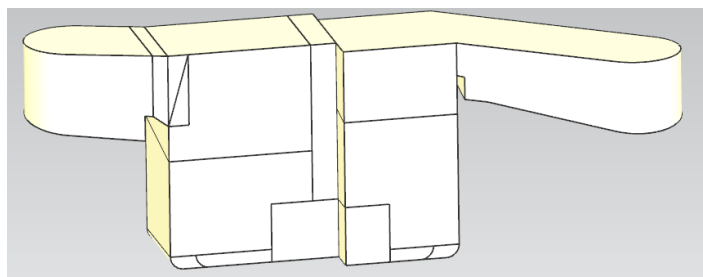
Joonis 11 näidatud valmis detaili paine on on samuti 90,00 kraadise nurga all. Mõõtes alapeatükis 3.2 saadud tagasipainde mudeli pealt sama nurka on tulemuseks 96,00

kraadi, mis on ka oodatav tulemus, sest tegemist on peaaegu identsete painetega. Tagasipainde nurk on näidatud Joonis 34.

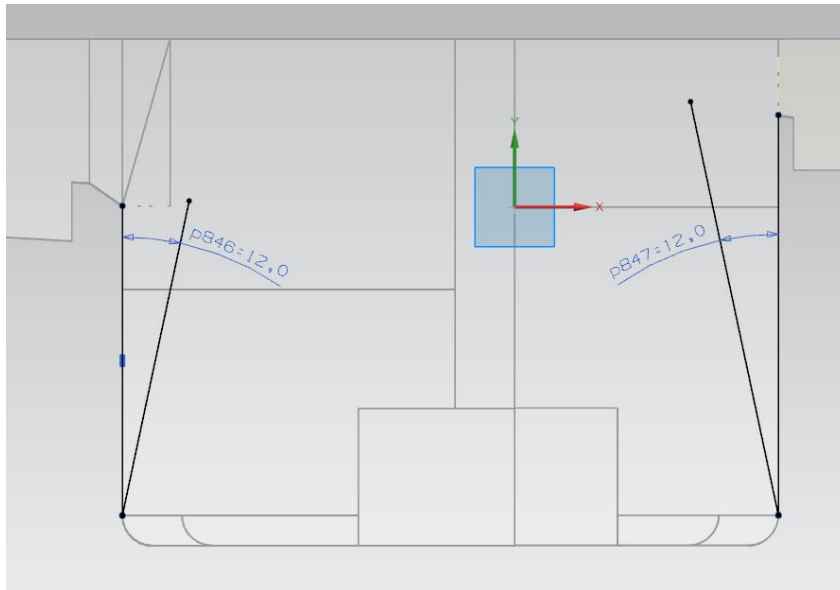


Joonis 34. Kolmanda tagasipainde nurk

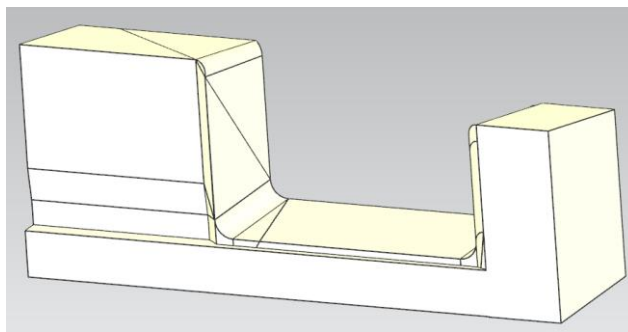
Kuna teise ja kolmanda tagasipainde suurus on 6 kraadi, siis saab sellest järeldada, et mõlema nurga painutustemplid ja painutusmatriitsi tuleb muuta kaks korda nii palju ehk 12 kraadi võrra, selleks, et enne tagasipainet tekiks nurk, mis tagaks pärast tagasipainet detaili joonisele vastava nurga. Teise ja kolmanda tagasipaindega painutustempel ja painutusmatriits on „Special Forming“ tööriistaga tehtud ühes ja samas painutuselemendis. Need on näidatud Joonis 35 ja Joonis 37. Tagasipainde analüüsi põhjal on vaja teha templis ja matriitsis muudatused, mis on näidatud Joonis 36 ja Joonis 38.



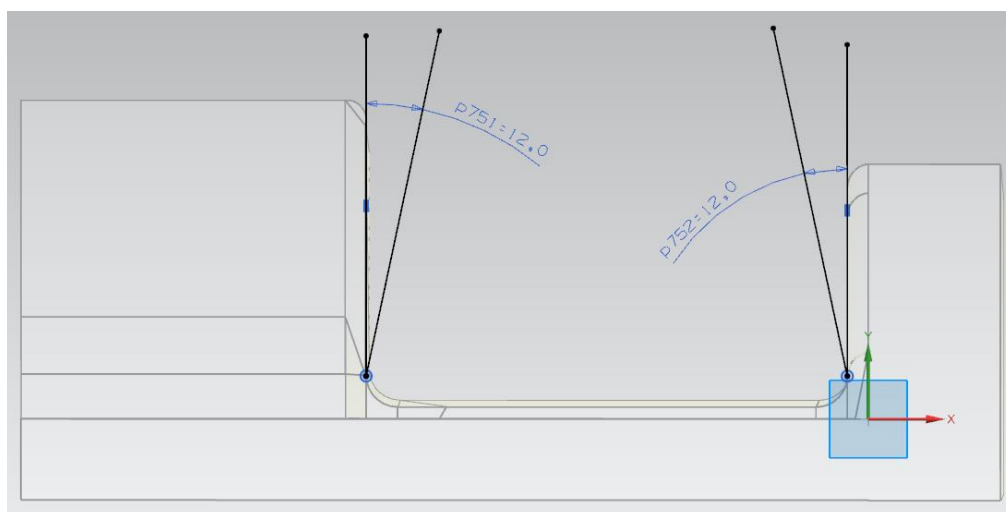
Joonis 35. „Special Forming“ tööriistaga valmistatud teise ja kolmanda tagasipainde tempel



Joonis 36. Vastavalt teise ja kolmanda tagasipainde analüüsile tehtud templi muudatus

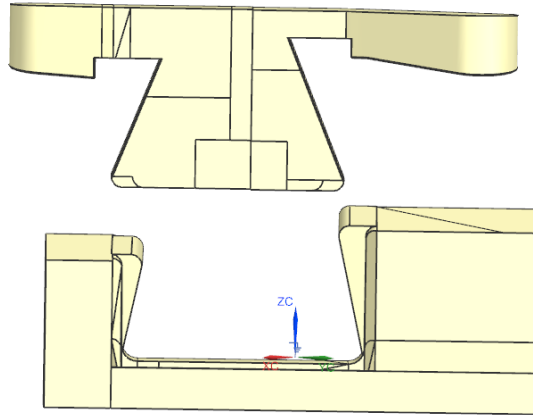


Joonis 37. „Special Forming” tööriistaga valmistatud teise ja kolmanda tagasipainde matriits



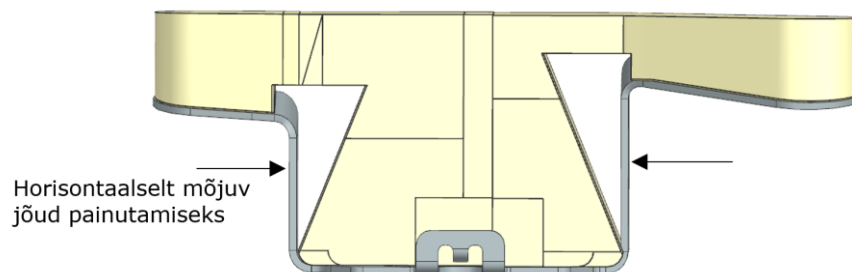
Joonis 38. Vastavalt teise ja kolmanda tagasipainde analüüsile tehtud matriitsi muudatus

Teoreetiliselt selliselt muudetud templi ja matriitsi kuju annab detailile täpse ülepainde, millega tagatakse detaili joonisele vastavus. Tehnoloogiliselt aga ei ole võimalik sellise templi ja matriitsi kombinatsiooniga detaili toota, sest templi alumine pind on laiem kui matriitsi ülemine ülemine avatud osa nagu on näidatud Joonis 39.



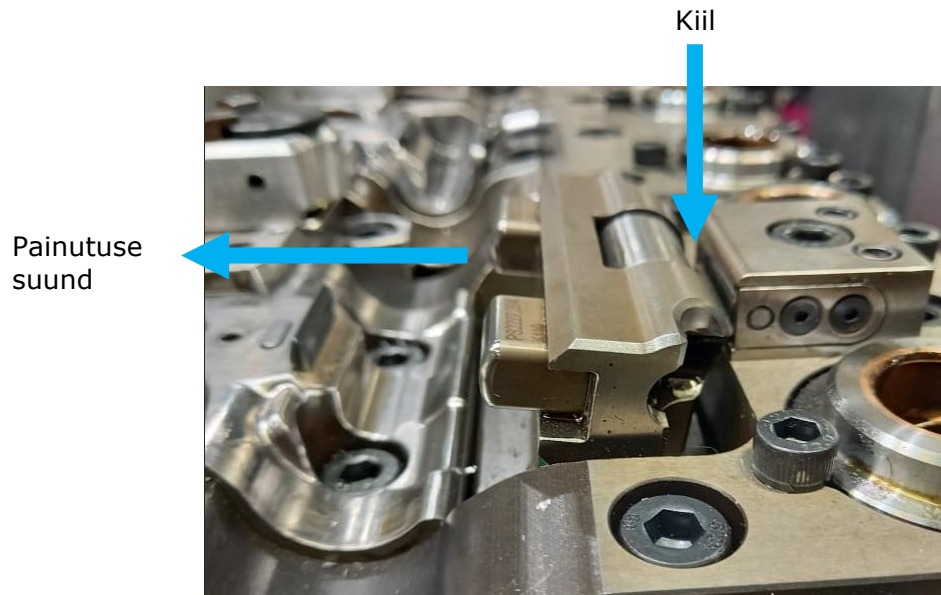
Joonis 39. Teoreetiliste templite omavaheline paigutus

See tähendab, et terase tagasipainde kombineerimiseks valitud meetodiks valitud ülepainutamise teostamiseks oleks vaja konstrueerida liikuv matriits, mis pressiks lehtmetaili ümber templi. Tehnoloogiat on illustreeritud eskiisil, mis on näidatud Joonis 40.



Joonis 40. Ülepainutamiseks vajalike jõudude suunad

Antud töö ei sisalda liikuva matriitsi arendus- ja projekteerimistööd. See on antud töö jätk, mida saab teha selle töö põhjal tehtud järeldustest. Joonis 41 on toodud näide liikuvast matriitsist. Liikuva matriitsi töötamiseks on vaja vertikaalselt liikuvat kiilu, mis tekitab horisontaalsuunalise jõu, mis painutab detaili.



Joonis 41. Liikuva matriitsi näide

### 6.3 ANALÜÜSITAVA DETAILI PAINUTUSTEMPLITE JA PAINUTUSMATRIITSIDE PROJEKTEERIMINE

Enamik painutustemplite ja -matriitse analüüsitava detaili painutamiseks ja vormimiseks saab projekteerida Siemens NX programmis „Progressive Die Wizard“ keskkonnas kasutades „Special Forming“ tööriista. Vastavalt peatükis 6.1 ja 6.2 tehtud analüüsile tuleb kahte templit ja matriitsi muuta. Templite ja matriitside joonised on näidatud Lisades 3 kuni 25.

Painutustemplite ja -matriitside projekteerimise juurde kuulub ka nende materjali valik. Templite ja matriitside materjaliks valitakse teras SKS3 [18]. See teras valitakse, sest pärast selle terase karastamist väärtusele 55 HRC on selle materjali voolepiir 1800 MPa [19]. Sellise väärtusega voolepiiri saavutamine tagab selle, et templid ja matriitsid suudavad painutada analüüsivat detaili, mis on tehtud materjalist S550MC, mille voolepiir on 550 MPa.

Painutustemplitele ja -matriitsidele, mis on terasest tehtud terase painutamiseks tuleb ka pinnakattega katta. Painutustemplite ja matriitside katmiseks kasutatakse põhiliselt PVD ehk *physical vapor deposition* katmise meetodit, mis on füüsiline auru sadestamise meetod. Painutustemplite ja -matriitse tuleb katta, sest see kaitseb elemente abarasiivkulumise ja korrosiooni eest, mis annab painutuselementidele pikema eluea. Pinnakatteks antud meetodiga katmiseks peaks kasutama titaan karboniiti ehk TiCN. Templitele ja matriitsidele pannakse pinnakatte kiht paksusega 4-5  $\mu\text{m}$ , mida tuleb arvestada nende projekteerimisel [20]. See tähendab, et templid ja matriitsid tuleb teha pinnakate võrra väiksemad.

## KOKKUVÕTE

Antud magistritöös analüüsiti Siemens NX tarkvaraga teostatud terases S550MX, painutus- ja vormimisoperatsioone. Töös kirjeldati analüüsitava detaili ning selle funktsiooni koostus. Lisaks kirjeldati kõiki painutus- ja vormimisoperatsioone, mida analüüsima hakatakse.

Kõigepealt selgitati töös lahti terase painutuse teoreetiline osa, kus seletati hüdraulilise painutuspressi jõudude süsteemi ning selle mõju detaili painetele. Lisaks selgitati erinevaid variante, kuidas on võimalik lahendada painutusoperatsioonide juures tekkivat tagasipainde probleemi.

Seejärel keskenduti konkreetselt ühe detaili paindeoperatsioonide analüüsimisele. Painutusoperatsioonide analüüsimiseks kasutati programmi Siemens NX12. Antud programmis kasutati „Analyze Formability – One Step“ tööriista selleks, et detaili painutusoperatsioone analüüsida. Antud tööriistaga analüüsiti, millised on detaili tagasipainded.

Lisaks detaili painete ja vormingute analüüsi konstrueeriti detaili pinnalaotuse asetus lehtmetailist toormaterjalil. Selle konstrueerimisel lähtuti lõikestantsimise printsiipidest, detaili ökonoomsest tootmisest ning stantsi suurusest.

Vastavalt detaili pinnalaotusele toormaterjalil ning painutussammude arvule koostati töö käigus painutuskeem ehk jaotati kõik detaili painded sammude vahel ära

Analüüsi tulemusel projekteeriti valmis detaili painutusstantsi tegemiseks vajalikud painutustemplid ja -matriitsid. Templite ja matriitsi projekteerimisel kasutati Siemens NX12 „Special Forming“ tööriista võimalusi, et elemente projekteerida ning lisaks projekteeriti 2 templit ja 2 matriitsi ümber vastavalt eelnenud tagasipainde analüüsi tulemustele. Painutuselementide projekteerimise juurde kuulus ka nende materjali ja pinnakatte tüübi valik.

Uurimustöö jätkuks võiks arendada liikuvat matriitsi, mille praktilist vajadust tõestavad selle töö analüüsi tulemused.

## **SUMMARY**

In this master's thesis, the bending and forming operations of a steel S550MX part performed with Siemens NX software were analyzed. The dissertation described the analyzed part and its function in the assembly. In addition, all bending and forming operations to be analyzed in this thesis were described.

In the first part of this study the theoretical aspects of steel bending were explained, the system of forces of the hydraulic bending press and its effect on the bends of the steel part were described. Then, various ways of solving the problem of springback during bending operations were explained.

The dissertation then focused specifically on the analysis of bending operations of one part. The Siemens NX12 program was used to analyze the bending operations. In that program the Analyze Formability - One Step tool was used to depict the bending operations and springback of the certain steel part.

In addition to the analysis of the bending and forming of the steel part, the position of surface area of the steel part on the sheet metal source material was constructed which was designed based on the principles of stamping, economical production and the size of stamping press.

According to the surface area of the part on the source material and the number of bending steps, a bending scheme was prepared in this study and all bends of the part were divided between the steps.

As a result of the analysis, the bending punch and dies required to make the bending stamp of the finished part were designed. Punches and dies were designed using the capabilities of the Siemens NX12 Special Forming tool, in addition, 2 punches and 2 dies were redesigned according to the results of the previous springback analysis. The design of the bending elements also included the choice of their material and type of coating.

As a continuation of the research work, a moving die could be developed, the practical need of which is proved by the results of the analysis of this thesis.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

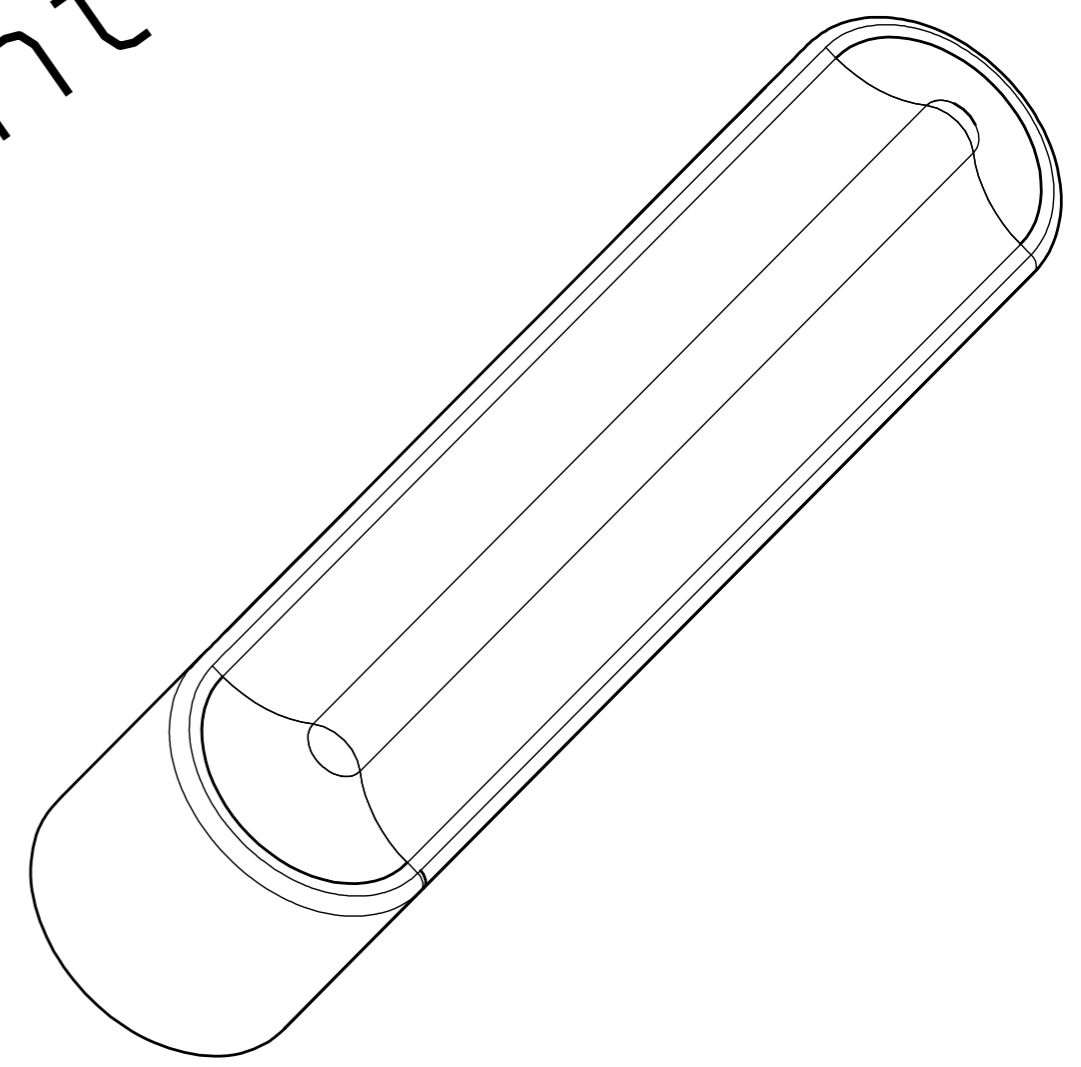
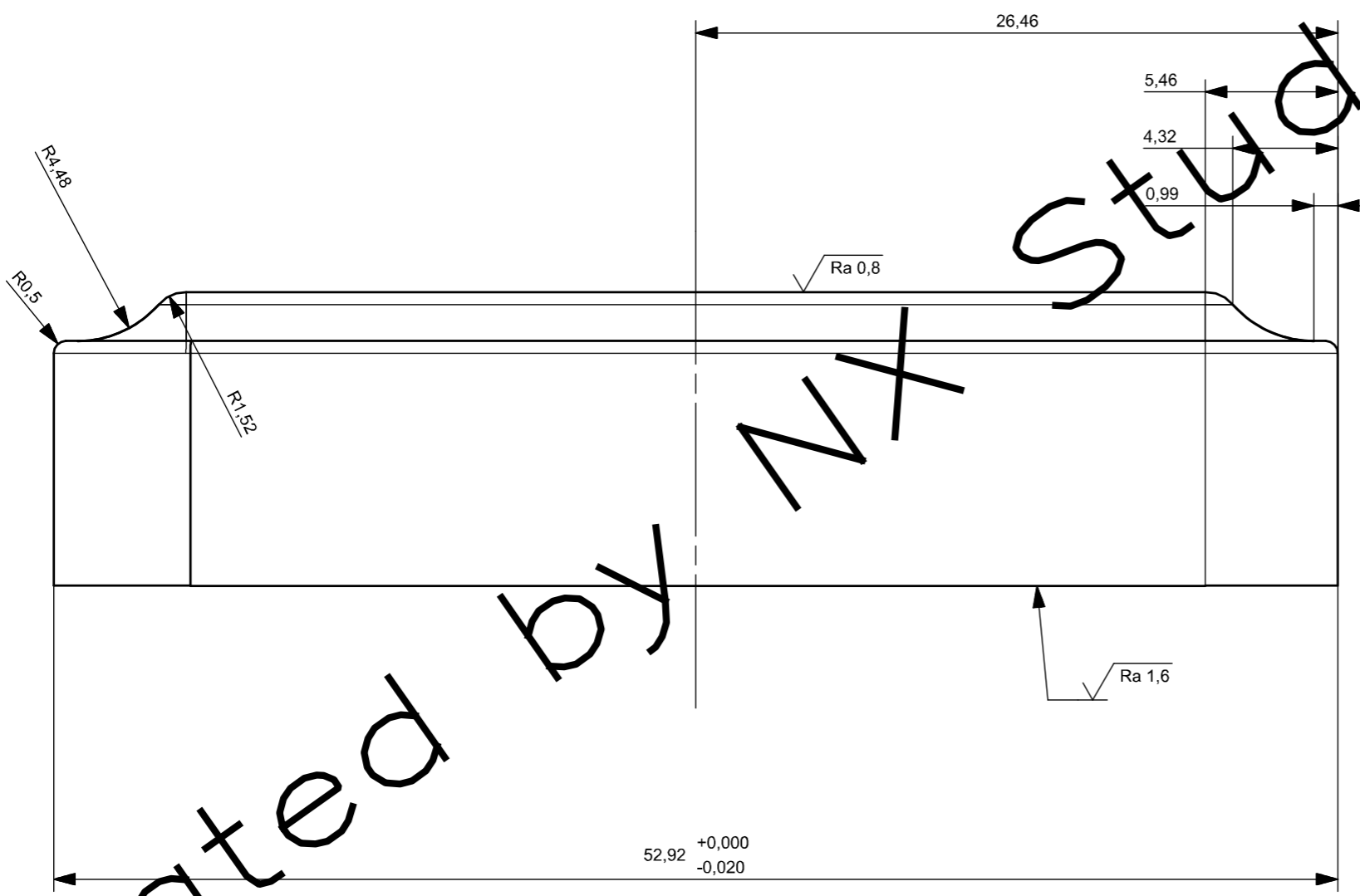
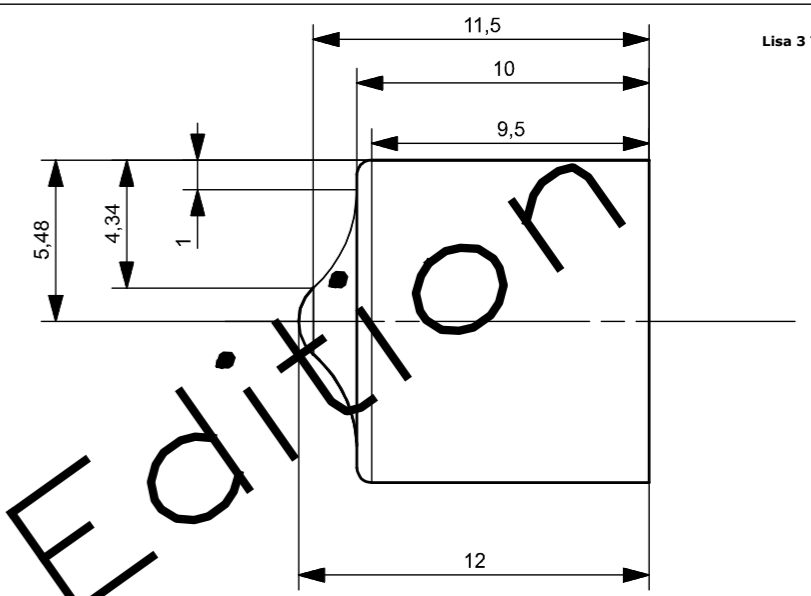
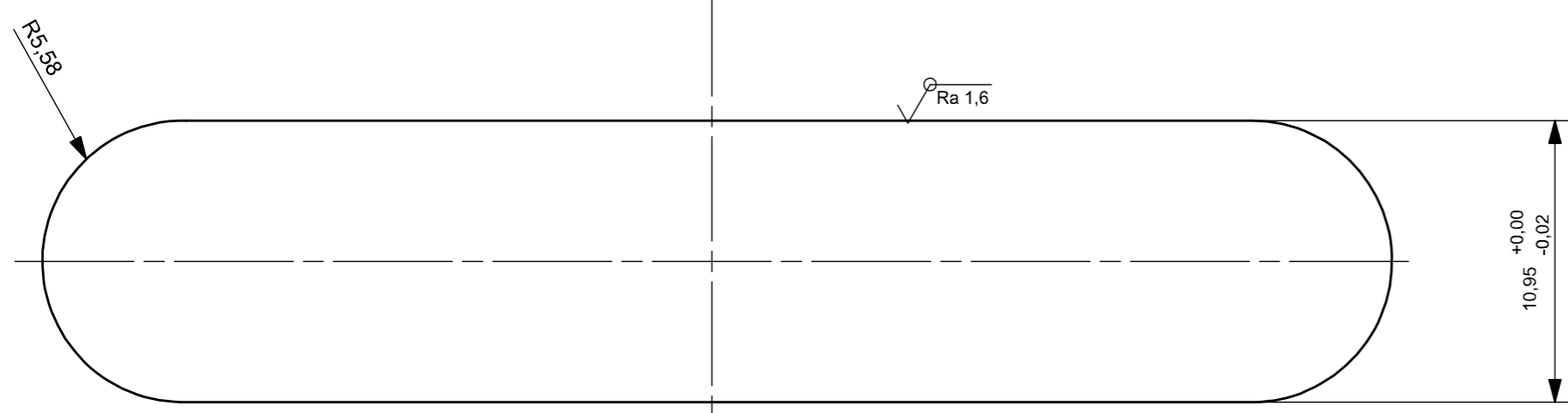
1. AS Norma. [Online]  
<http://www.norma.ee/> (22.05.2021)
2. AS Norma. [Online]  
[https://et.wikipedia.org/wiki/AS\\_Norma](https://et.wikipedia.org/wiki/AS_Norma) (22.05.2021)
3. AS Norma. Lehtmetalli stantsimine. [Online]  
<http://www.norma.ee/osakonnad/lehtmetalli-stantsimine/> (22.05.2021)
4. AS. Norma. Isoterimiline karastus. [Online]  
<http://www.norma.ee/osakonnad/isotermiline-karastus/> (22.05.2021)
5. AS Norma. Galvaaniline katmine. [Online]  
<http://www.norma.ee/osakonnad/galvaaniline-katmine/> (22.05.2021)
6. AS Norma. Plastmassi survevalu. [Online]  
<http://www.norma.ee/osakonnad/plastmassi-survevalu/> (22.05.2021)
7. AS Norma. Koostamine. [Online]  
<http://www.norma.ee/osakonnad/koostamine/> (22.05.2021)
8. AS Norma. Tööriistavabrik. [Online]  
<http://www.norma.ee/osakonnad/tooriistavabrik/> (22.05.2021)
9. Siemens NX tarkvara. [Online]  
<https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/nx/> (22.05.2021)
10. SSAB Domex 550MC. Teras S550MC füüsikalised parameetrid. [Online]  
[https://www.ssab.com/products/brands/ssab-domex/products/ssab-domex-550mc?gclid=Cj0KCQjw1PSDBhDbARIsAPeTqrdSSk3zDTpymz3OpWzHiOCgNbieOqpQ5F585SyJXAgBfZREfn3uLmUaAqe1EALw\\_wcB](https://www.ssab.com/products/brands/ssab-domex/products/ssab-domex-550mc?gclid=Cj0KCQjw1PSDBhDbARIsAPeTqrdSSk3zDTpymz3OpWzHiOCgNbieOqpQ5F585SyJXAgBfZREfn3uLmUaAqe1EALw_wcB) (22.05.2021)
11. Spingback compensation. [Online]  
<https://blog.spatial.com/springback-compensation> (22.05.2021)
12. Hydraulic cylinder force calculaltor. [Online]  
<http://www.hydraulic-calculation.com/article.php?ID=13> (22.05.2021)

13. Hüdraulilise pressi silindrite diameetrid. [*Online*]  
<https://www.tigermetal.de/en/technische-daten> (22.05.2021)
14. Teras S550 MC elastusmoodul. [*Online*]  
<https://eurocodeapplied.com/design/en1993/steel-design-properties> (22.05.2021)
15. Poisson ratio. [*Online*]  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Poisson%27s\\_ratio](https://en.wikipedia.org/wiki/Poisson%27s_ratio) (22.05.2021)
16. Cyclic strength coefficient. [*Online*]  
[https://fce.arcelormittal.com/repository/Automotive\\_Product%20offer/HighStrengthSteels.pdf](https://fce.arcelormittal.com/repository/Automotive_Product%20offer/HighStrengthSteels.pdf) (22.05.2021)
17. Geomiq. Sheet metal Fabrication design Guide. [*Online*]  
<https://geomiq.com/sheet-metal-design-guide/> (22.05.2021)
18. MiSUMi. Press Dies Tutorial. [*Online*]  
<https://www.misumi-techcentral.com/tt/en/press/2011/08/090-fundamentals-of-steel-materials-for-dies-9-materials-for-the-main-parts-of-dies-1.html>  
(22.05.2021)
19. Otaisteel. JIS SKS3 steel. [*Online*]  
<https://www.otaisteel.com/products/cold-work-tool-steel/jis-sks3-steel-o1-9crwmn-95mnwcr1-100mncrw4-cold-work-tool-steel/> (22.05.2021)
20. The Fabricator. Coating for stamping and forming tools. [*Online*]  
<https://www.thefabricator.com/stampingjournal/article/stamping/coating-for-stamping-and-forming-tools> (22.05.2021)

**LISAD**



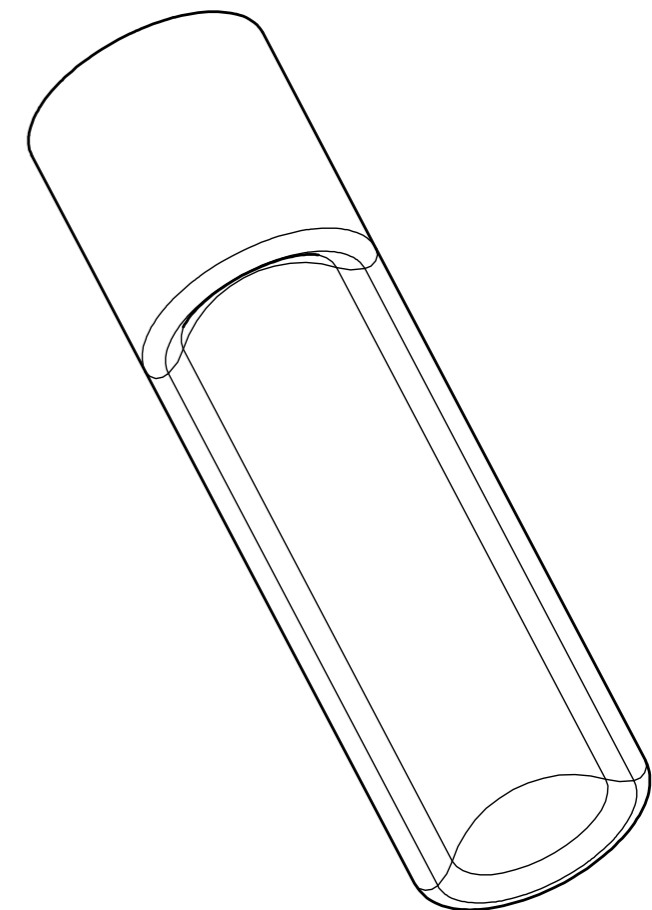
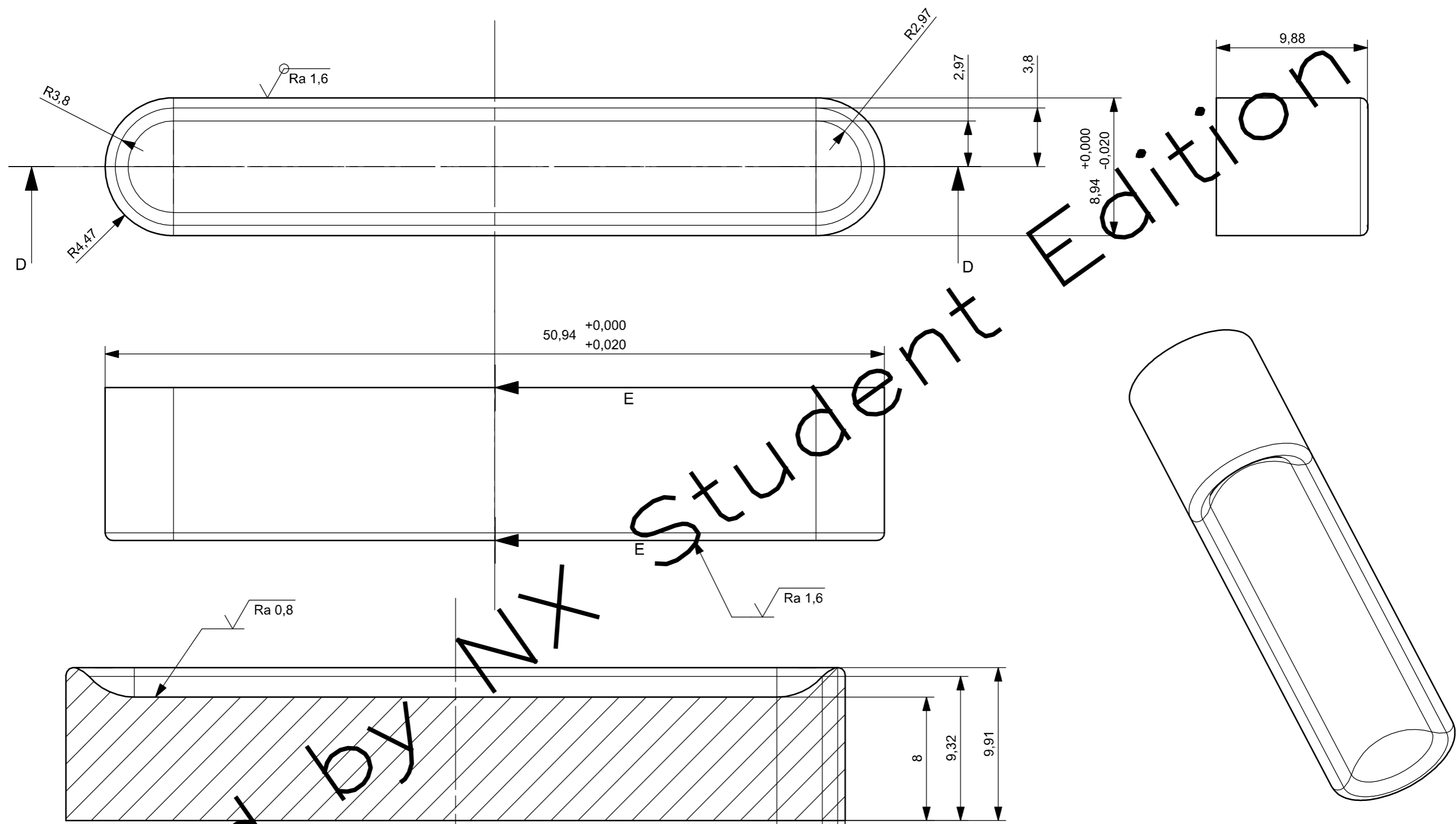
520714 Teraslint 2.46 x 136 S550MC		Sertifikaadi/ Del.note nr.	Keybox-i / LES-i partii nr.	Sulam	Sisset. kg	Tootja	Kuupäev	Heakskii- detud. kg	C	Si	Mn	P	S	AL	Nb	Ti	V	B	Rp/Re N/mm2	Rm N/mm2	A80 %	HV10
Põrgihoidja 306703810																						
2017 a.																						
2018 a.																						
2019 a.			3.03.2019 LES																			
2020 a.																						
2021 a.																						
Partii nr. 74563	151441/1 200784	74563	74563	7840	LZM	22.01.2021 22.01.2021	7840	0,074	0,213	0,847	0,019	0,003	0,038	0,058	0,004	0,003	0,0001	626	640	15,7	201	
Partii nr. 74775	151928/1 202428	74775	74775	7580	LZM	08.03.2021 08.03.2021	7580	0,072	0,022	0,749	0,011	0,002	0,031	0,043				556	617	18,7	191	
Partii nr. 74775	151442/1 202429	74775	74775	7610	LZM	08.03.2021 08.03.2021	7610	0,072	0,022	0,749	0,011	0,002	0,031	0,043				556	617	18,7	191	



Detaili täielikud mõõtmed vastavalt Tempel 1.stp failile

	Materjal: Teras SKS3	Märkimata piirhälbed: IT7	Mass: 0,05 kg	Mööd: 4:1
Teostas:	O. Protsin	<h1>Tempel 1</h1>		
Kontrollis:	M. Eerme			
Kinnitas:	M. Eerme			
TALTECH		Leht: 1/1	Tähis: MATM - 001	

Created by NX Student Edition



SECTION D-D

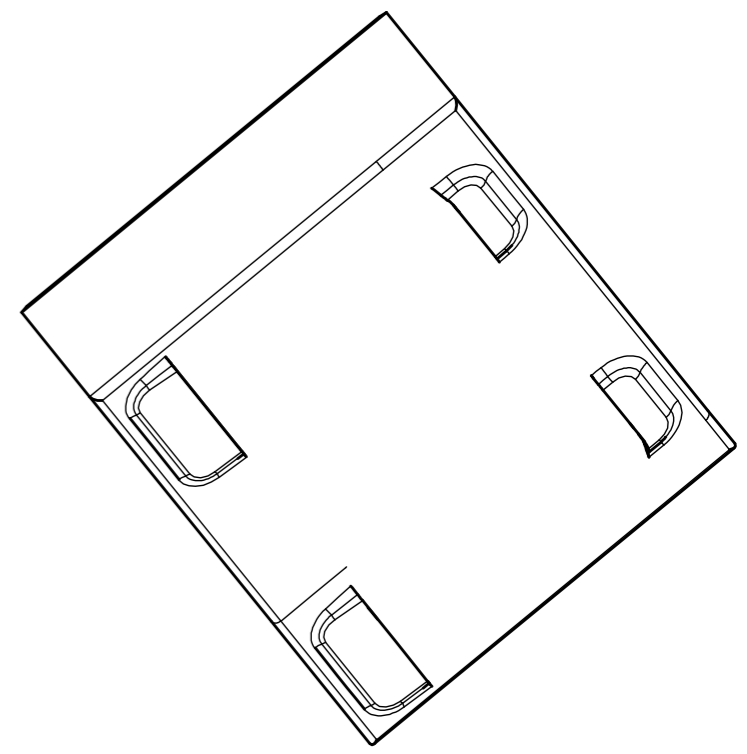
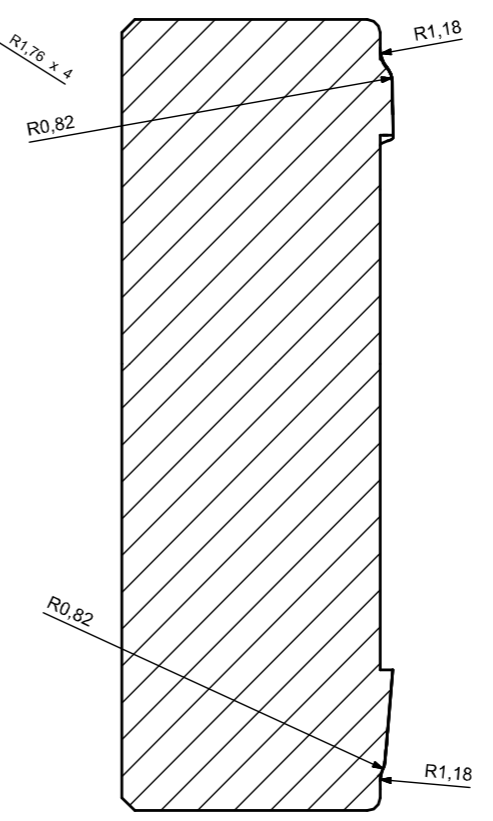
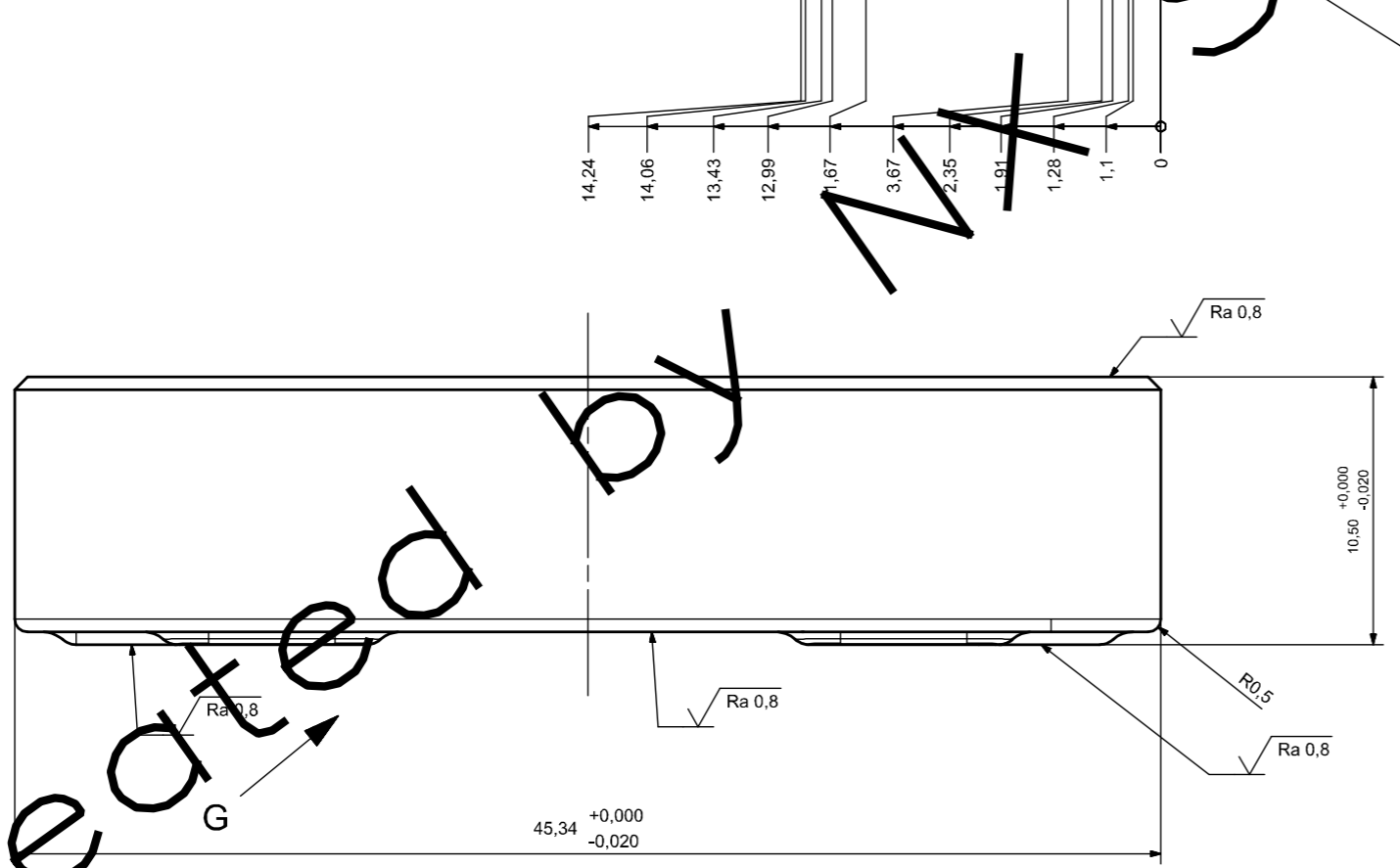
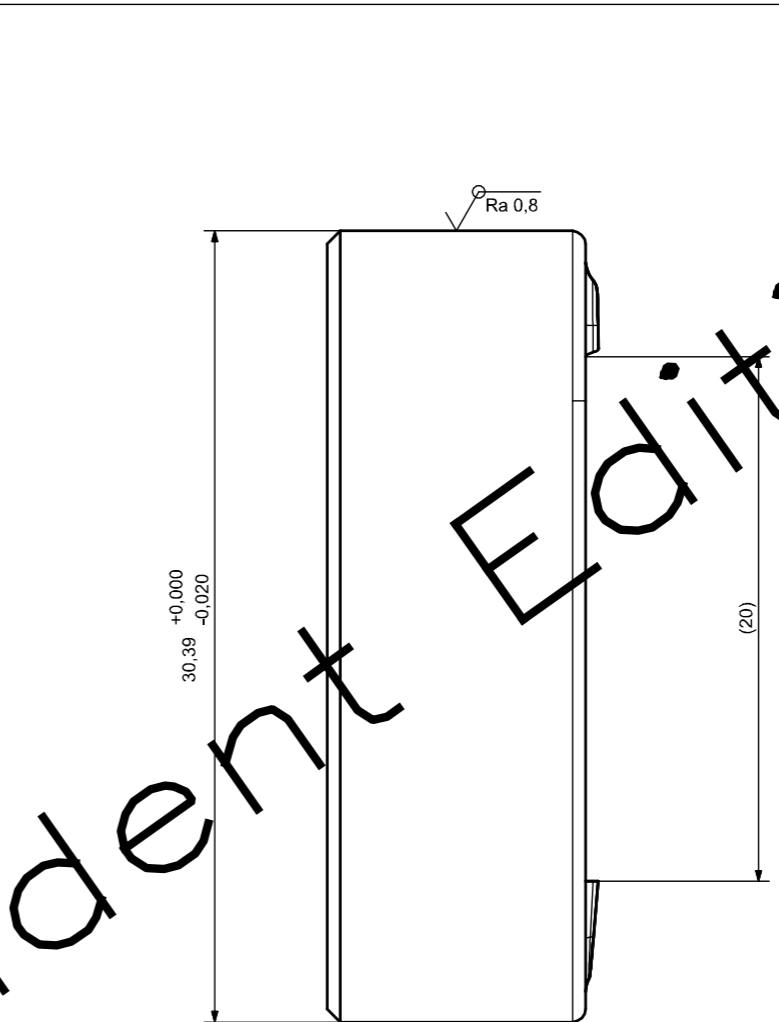
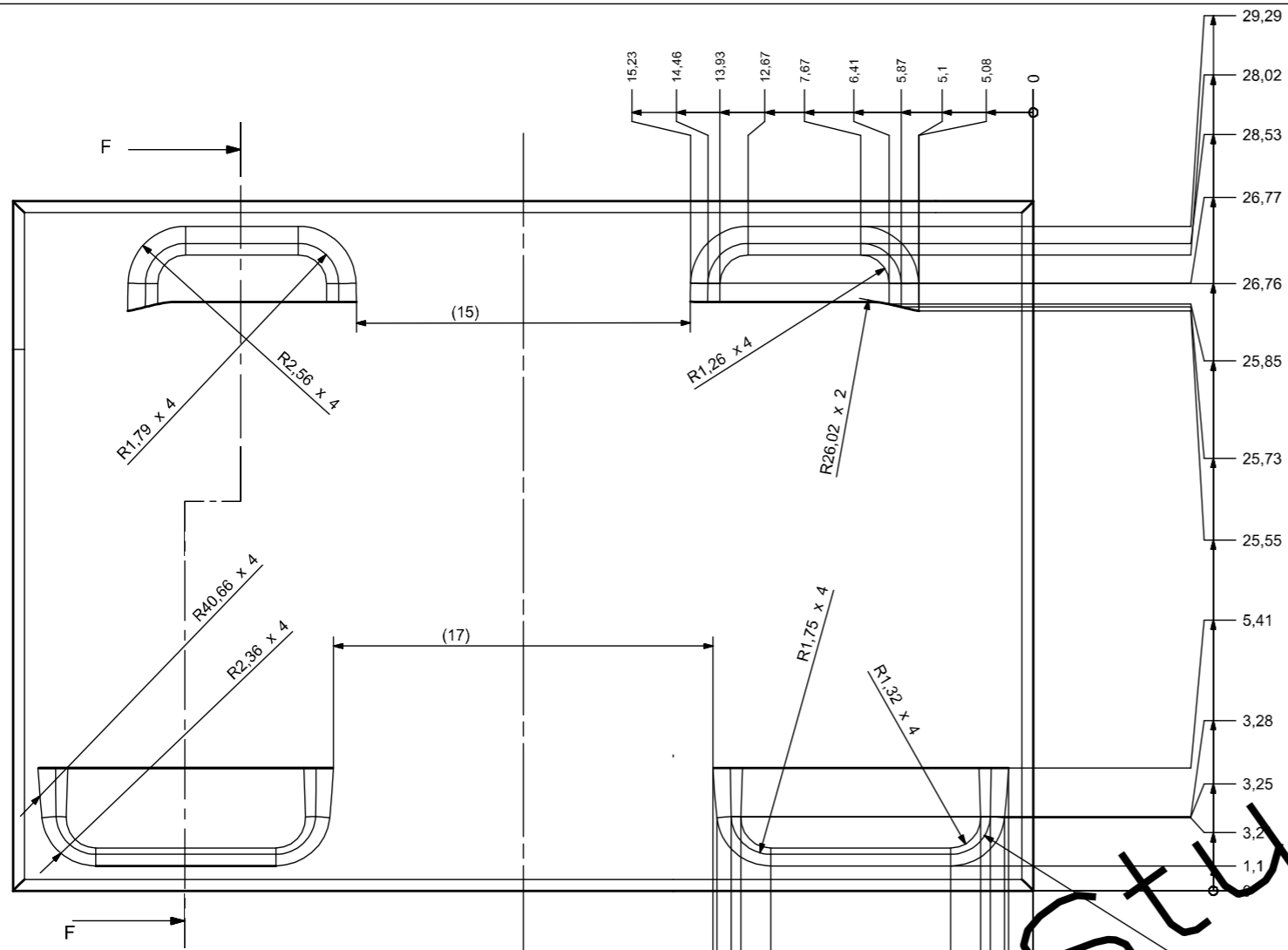
Detalli täielikud mõõtmed vastavalt Matriits 1.stp failile

	Materjal:	Märkimata piirhälbed:	Mass:	Mööd:
	Teras SKS3	IT7	0,03 kg	4:1
Teostas:	O. Protsin	<h1>Matriits 1</h1>		
Kontrollis:	M. Eerme			
Kinnitas:	M. Eerme			
TALTECH		Leht:	Tähis:	
		1/1		MATM - 002

Created by

MX

Student Edition



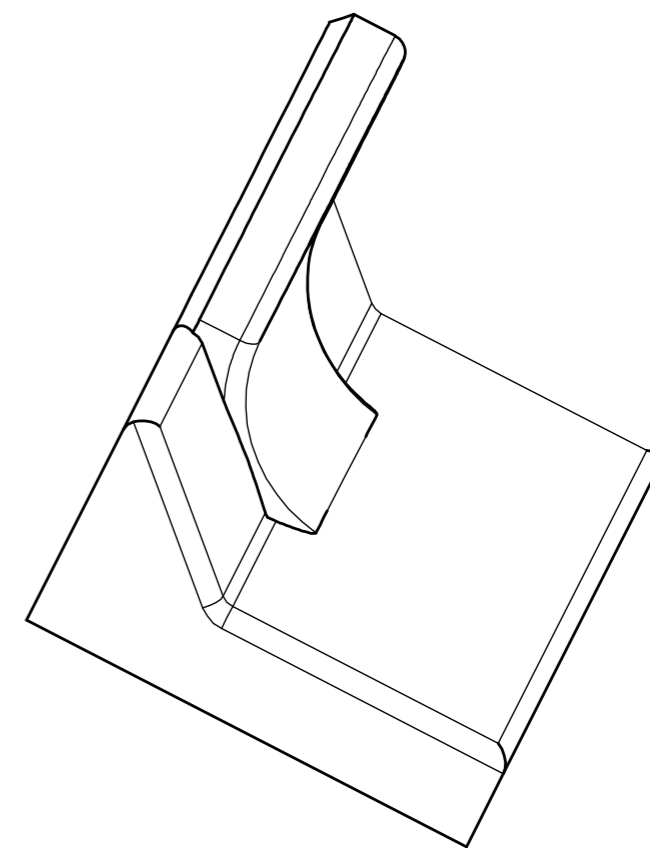
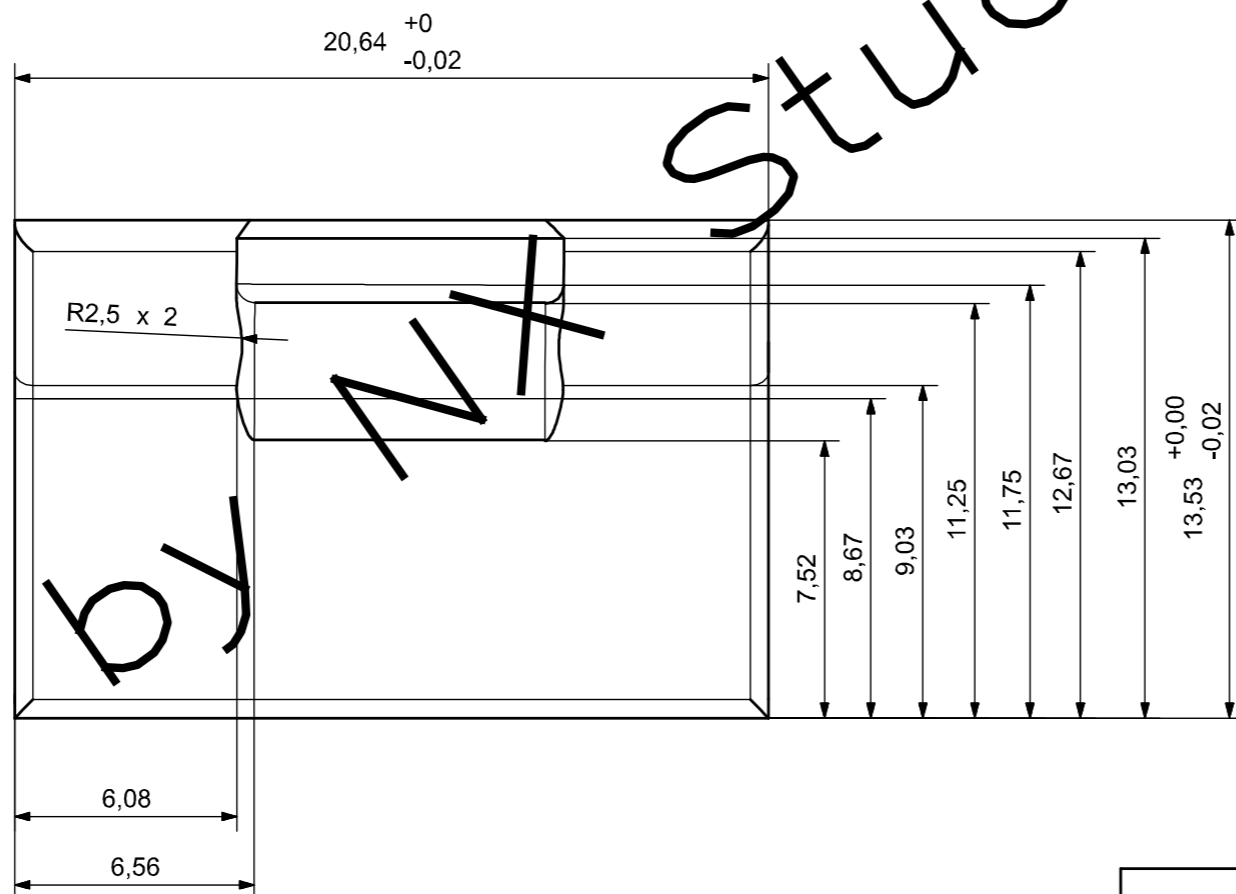
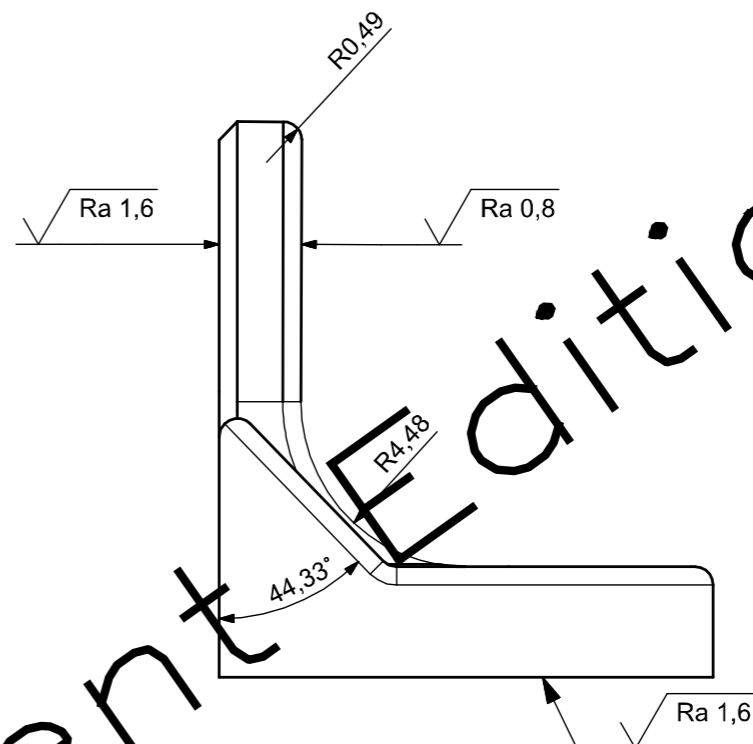
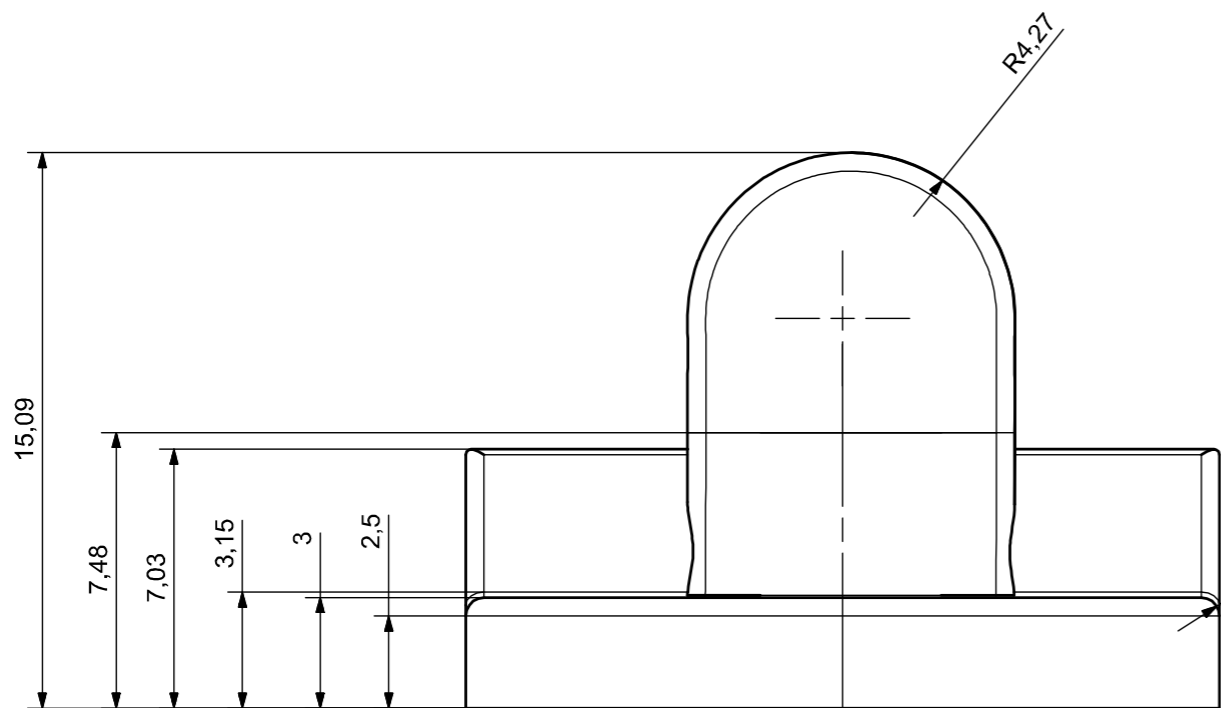
3:1  
VIEW G

Detalli täielikud mõõtmed vastavalt Tempel 2.stp failile

		Materjal: Teras SKS3	Märkimata piirhälbed: IT7	Mass: 0,11 kg	Moot: 5:1
Teostas:	O. Protsin	<h1>Tempel 2</h1>			
Kontrollis:	M. Eerne				
Kinnitas:	M. Eerne				
TALTECH		Leht: 1/1	Tähis: MATM-003		

Created by

Created by Mx Student Edition

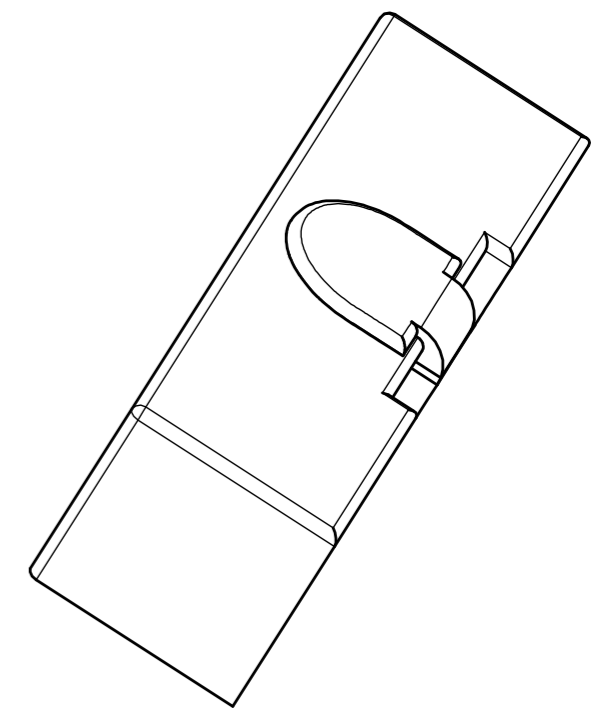
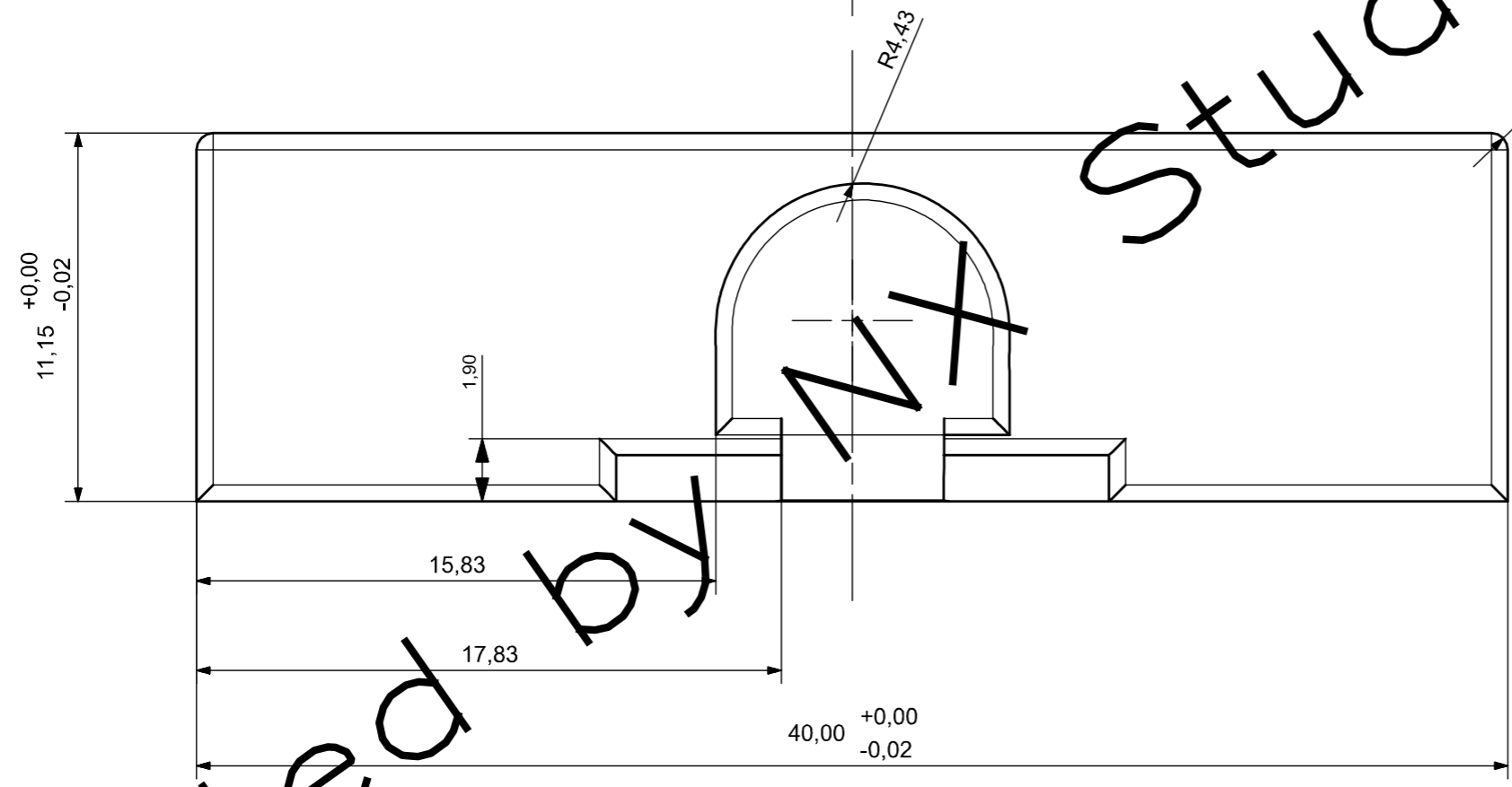
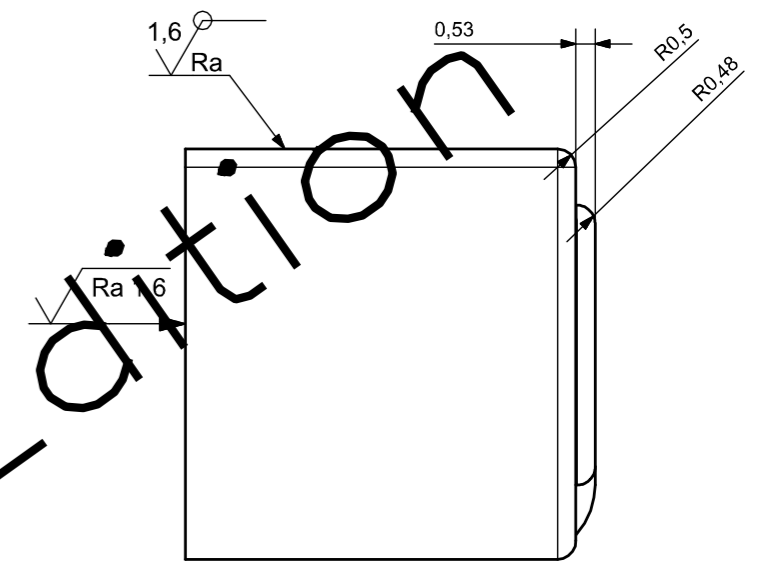
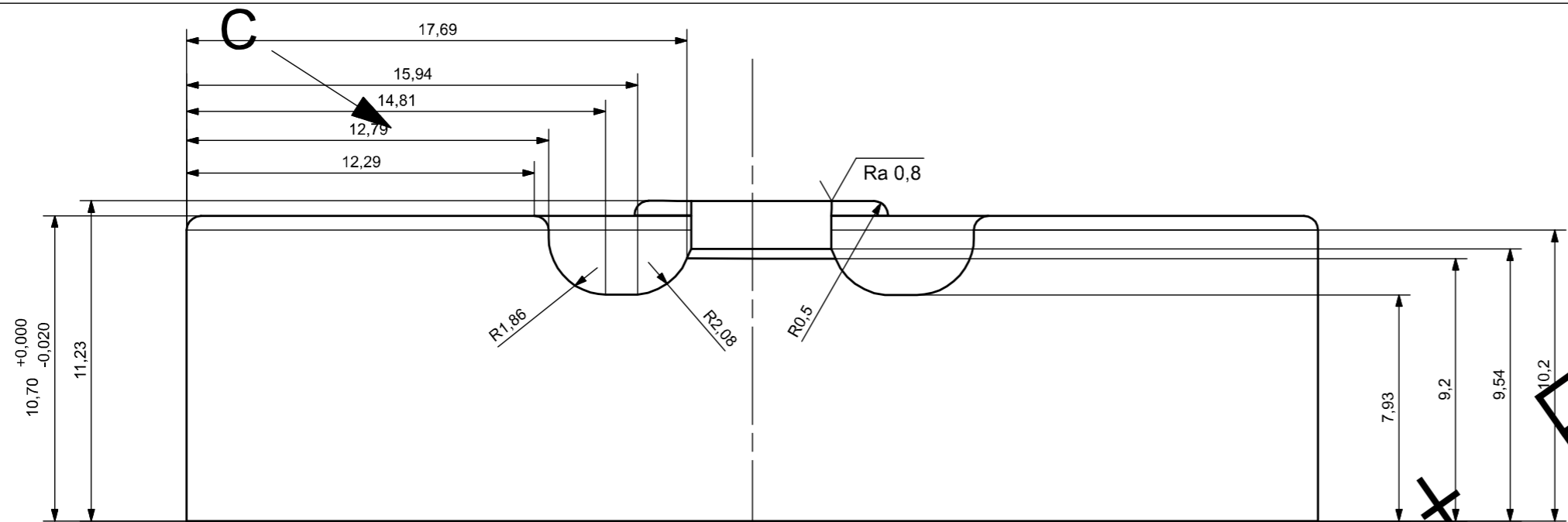


Detaili täielikud mõõtmed vastavalt Tempel 3.stp failile

	Materjal: Teras SKS3	Märkimata pihralbed: IT7	Mass: 0,01 kg	Mõõt: 5:1
Teostas:	O. Protsin	<h1>Tempel 3</h1>		
Kontrollis:	M. Eerme			
Kinnitas:	M. Eerme			
TALTECH		Leht: 1/1	Tähis: MATM - 004	

Created by

Student Edition

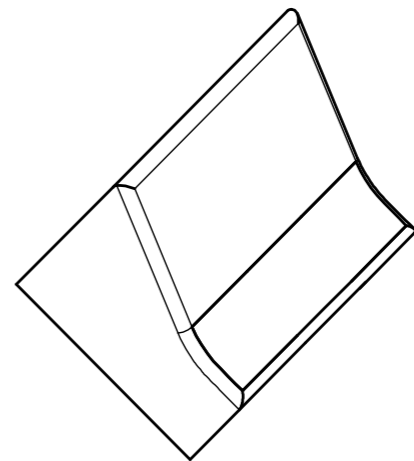
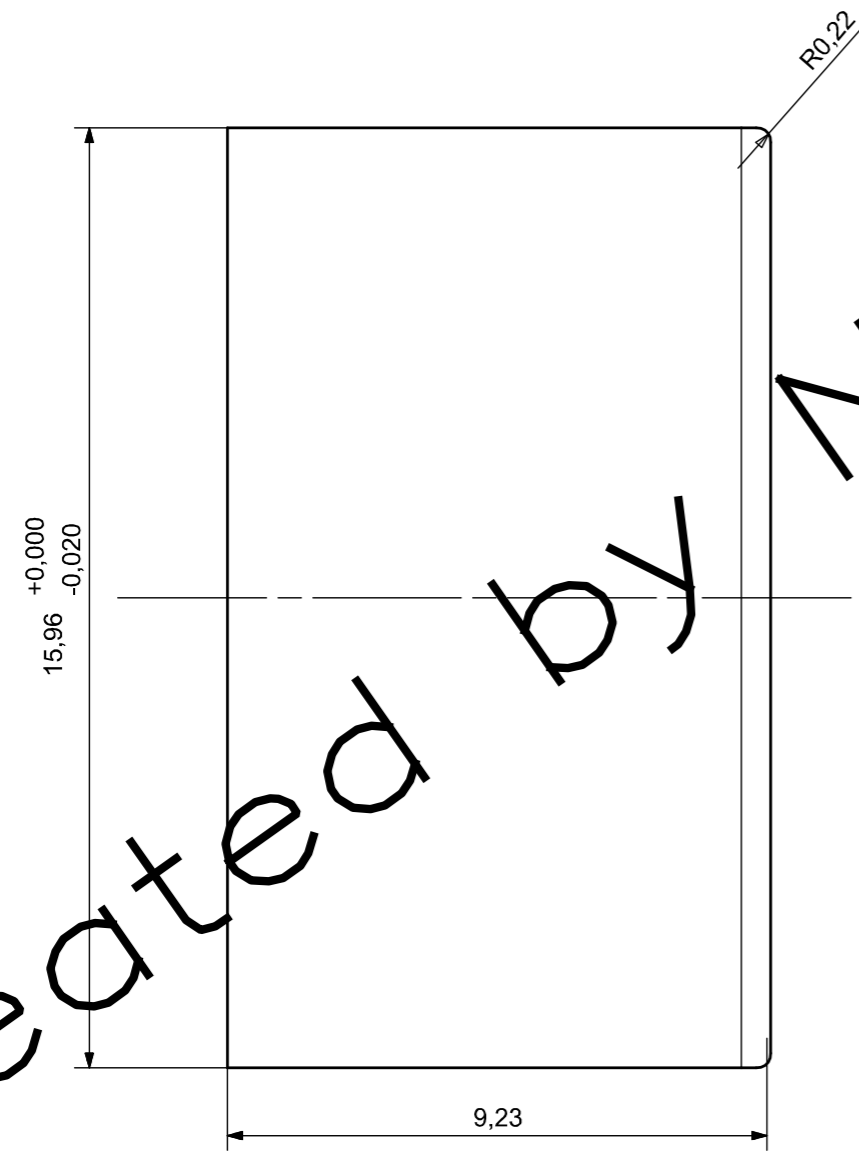
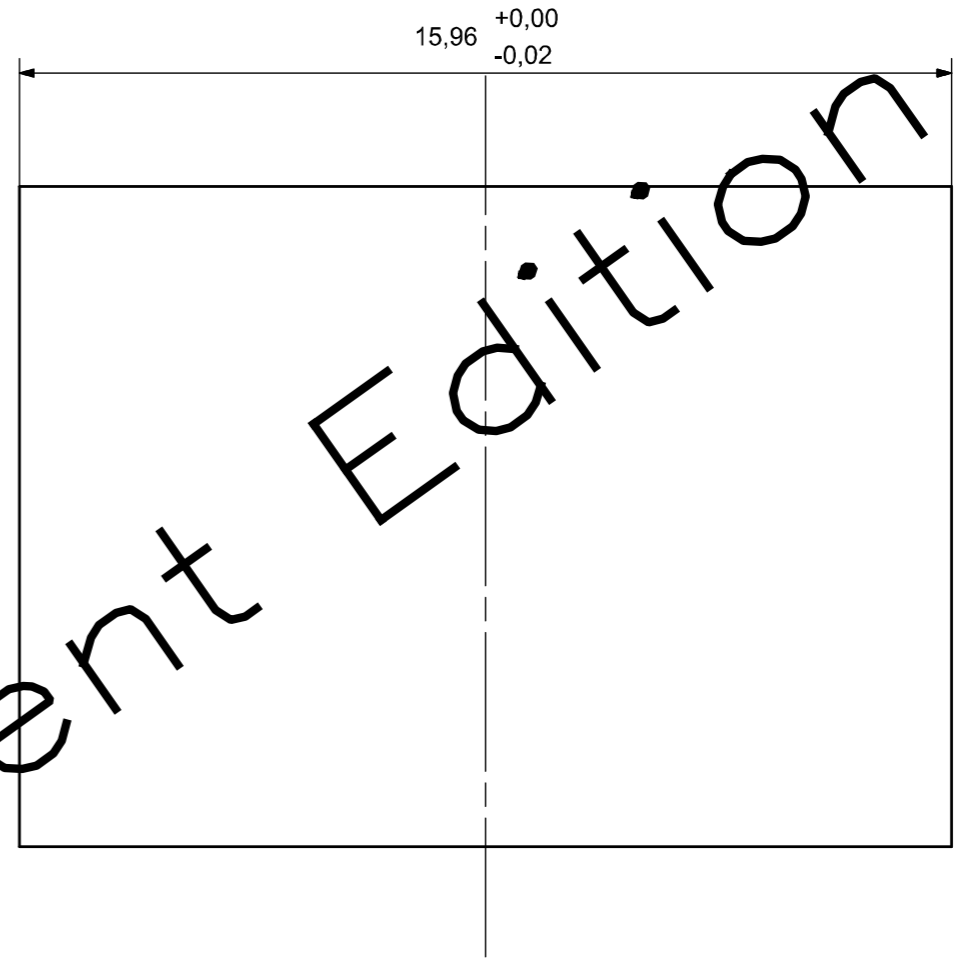
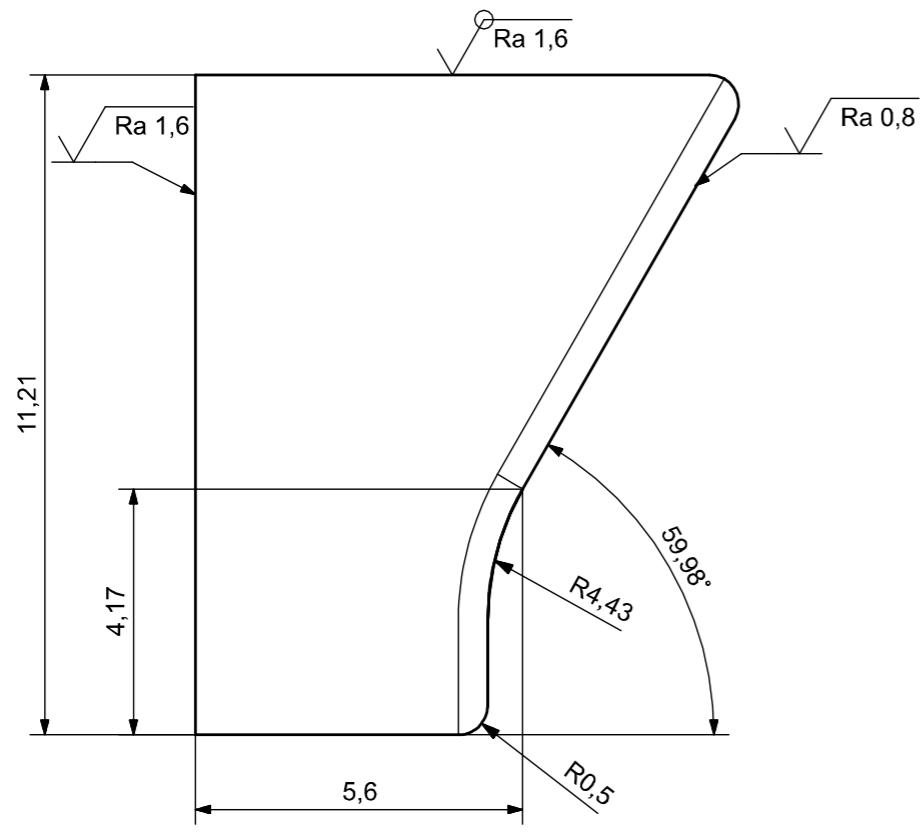


3:1  
VIEW C

Detaili täielikud mõõtmed vastavalt Matriits 3.stp failile

	Materjal: Teras SKS3	Märkimata piirhälbed: IT7	Mass: 0,01 kg	Mõõt: 5:1
Teostas:	O. Protsin	<h1>Matriits 3</h1>		
Kontrollis:	M. Eerme			
Kinnitas:	M. Eerme			
TALTECH		Leht: 1/1	Tähis: MATM - 005	

Created by Mx Student Edition

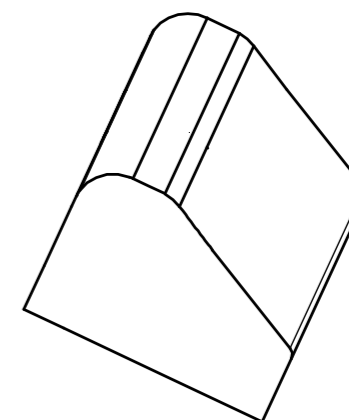
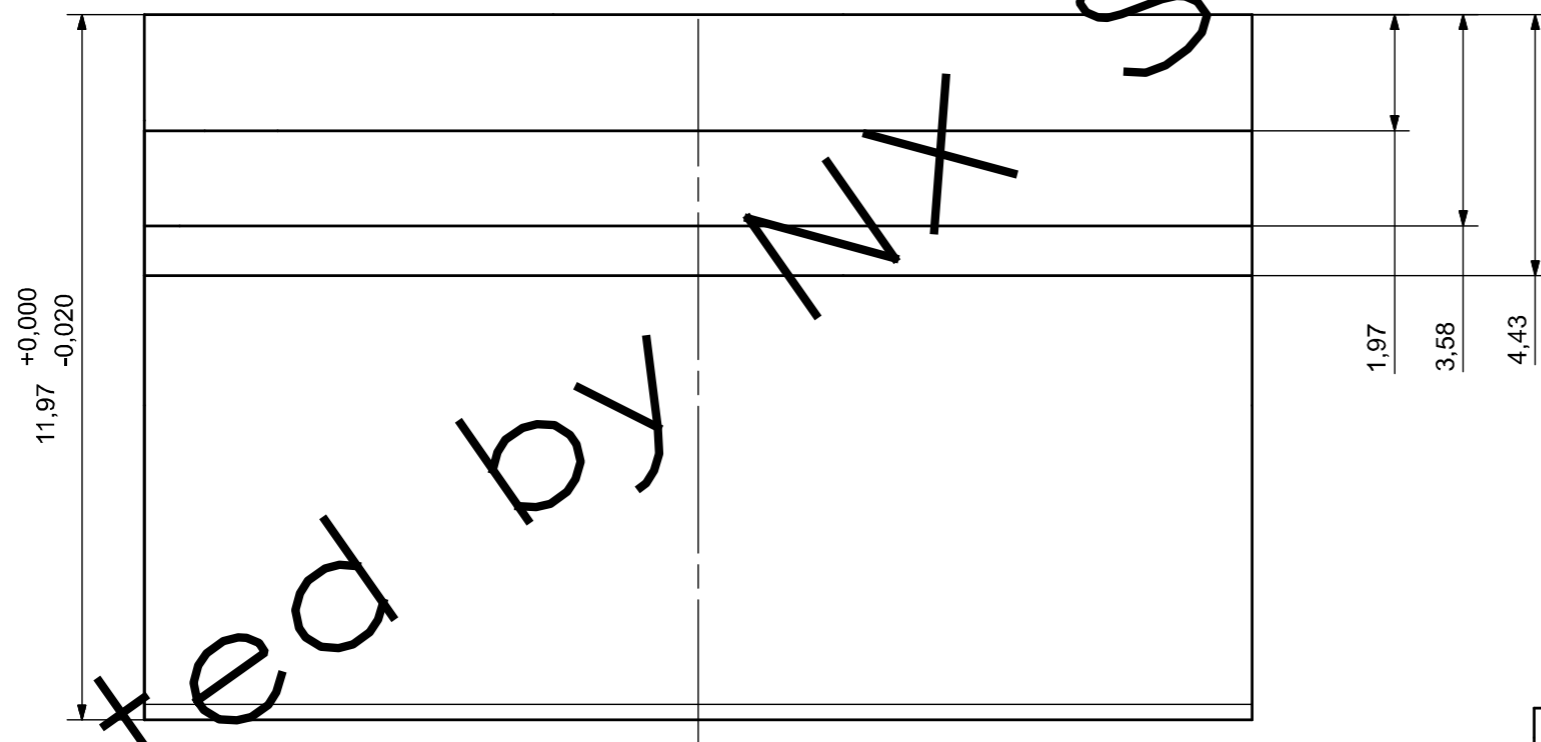
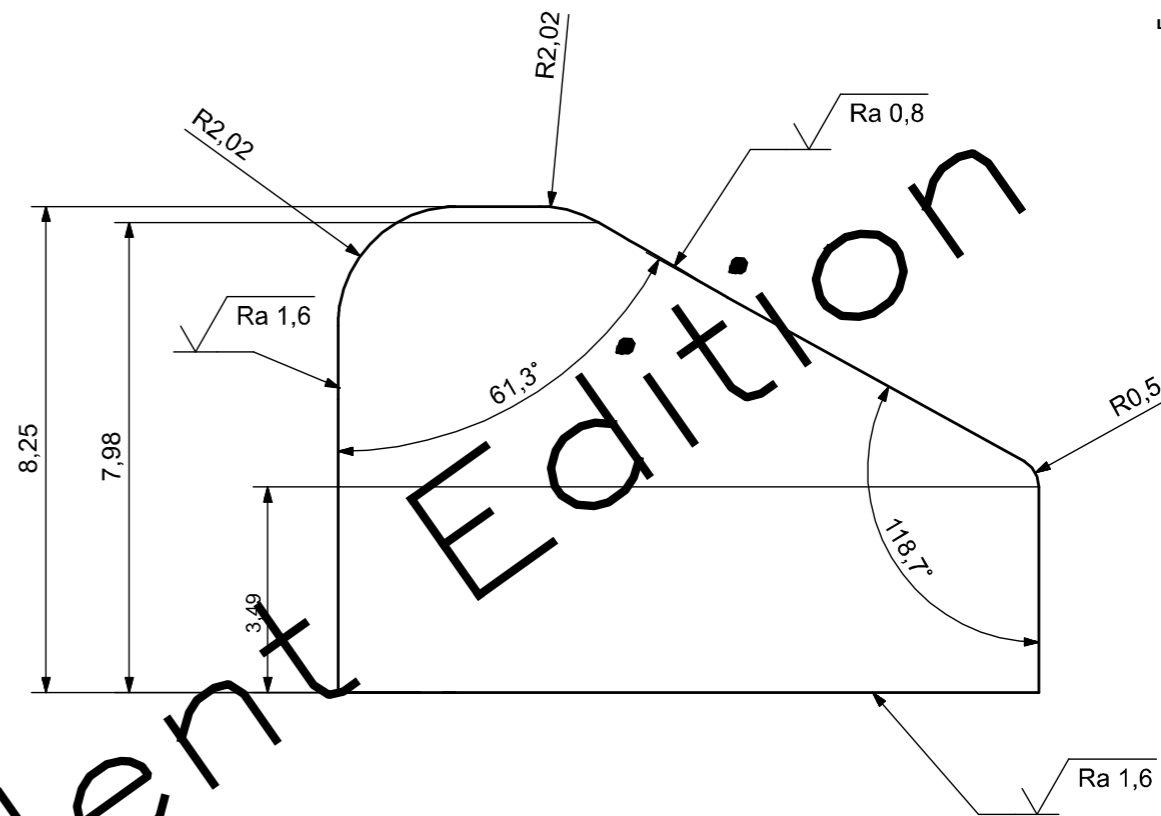
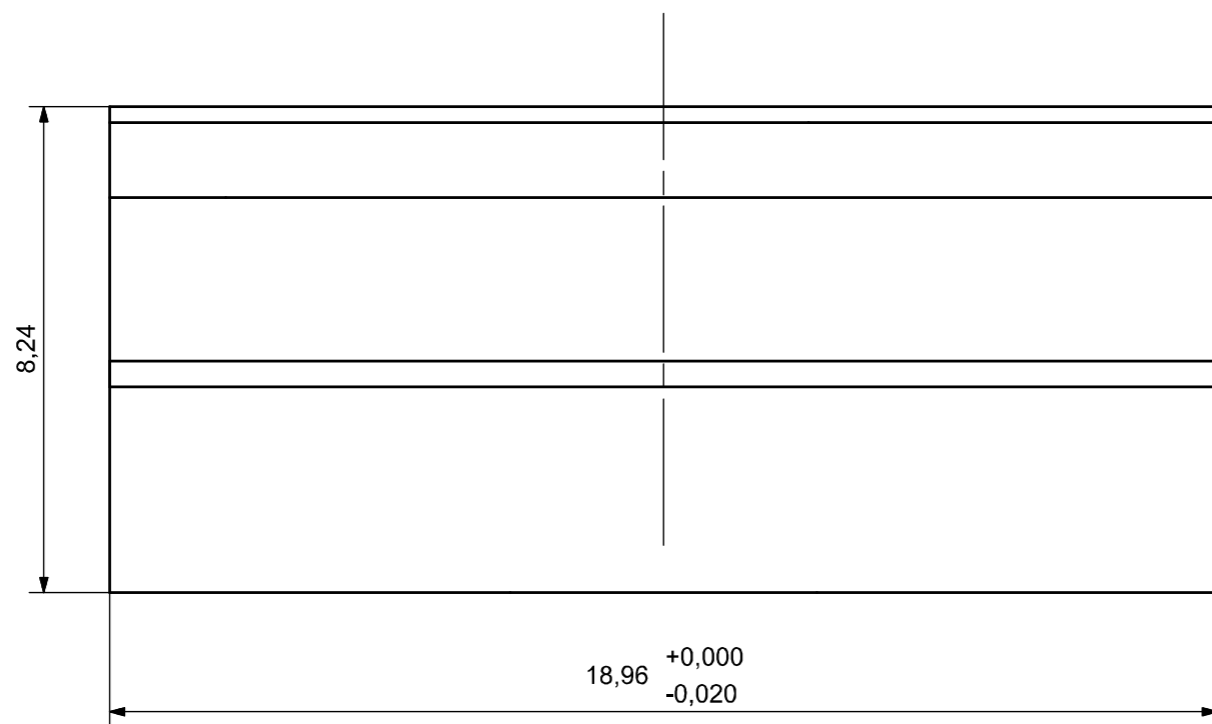


3:1  
VIEW B

Detaili täielikud mõõtmed vastavalt Tempel 4.stp failile

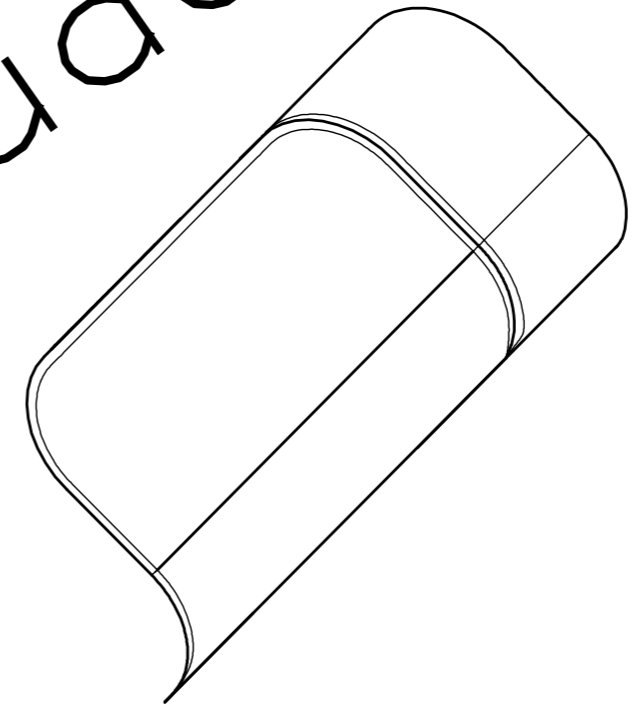
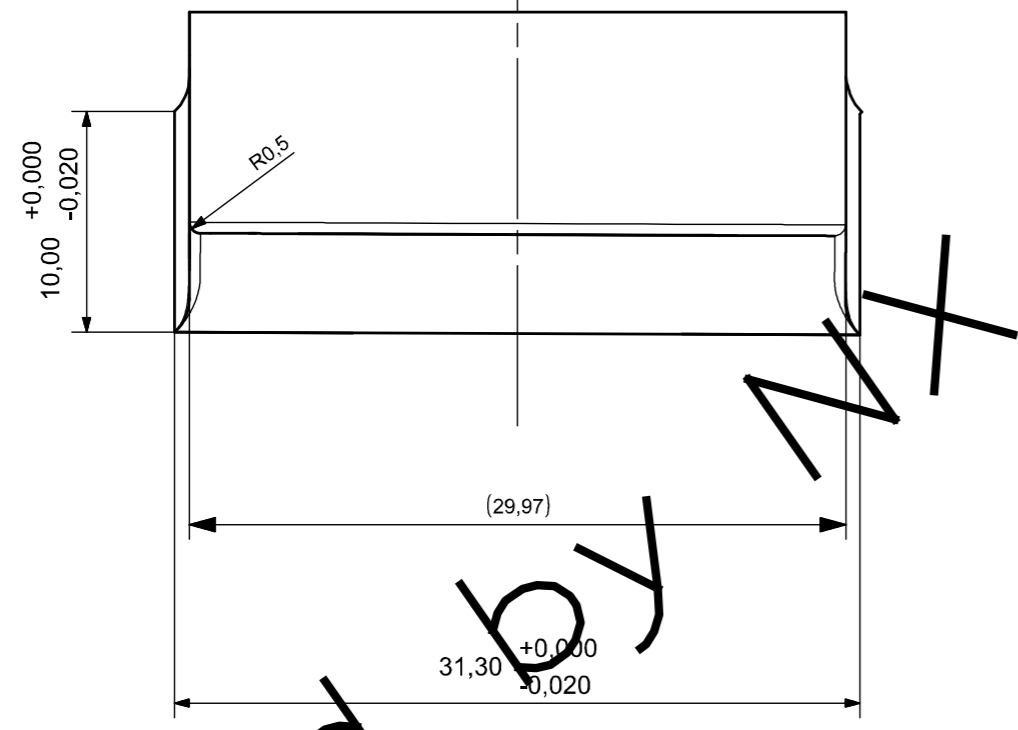
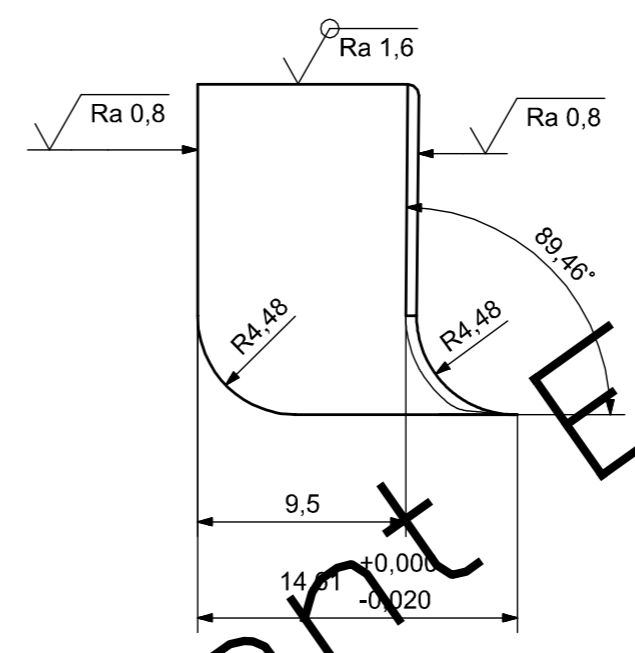
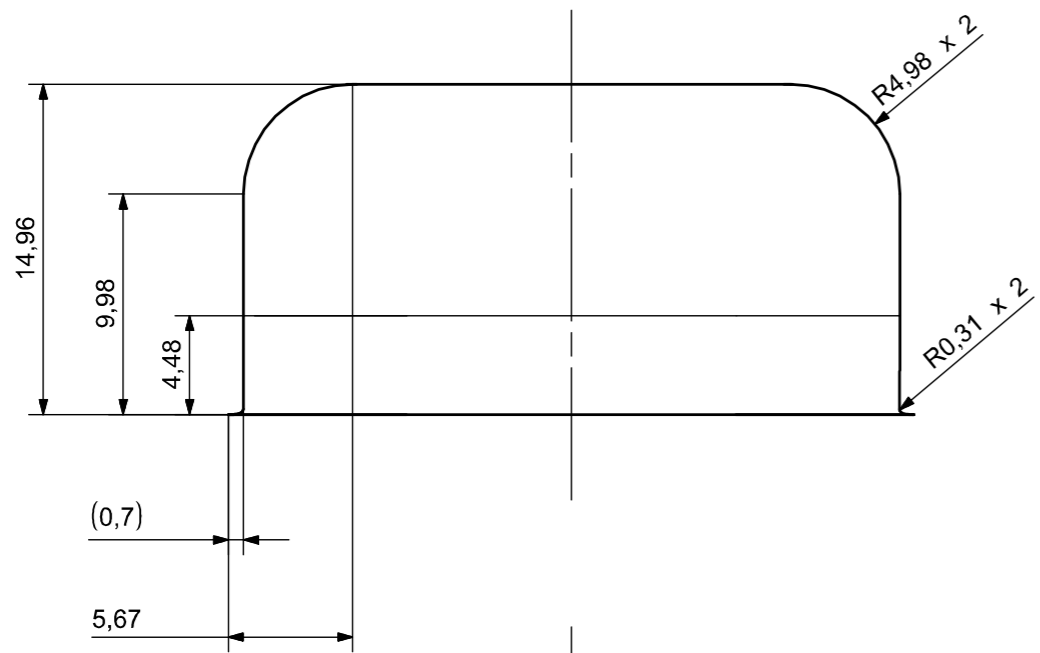
	Materjal: Teras SKS3	Märkimata piirhälbed: IT7	Mass: 0,01 kg	Mõõt: 8:1
Teostas:	O. Protsin	<h1>Tempel 4</h1>		
Kontrollis:	M. Eerme			
Kinnitas:	M. Eerme			
TALTECH		Leht: 1/1	Tähis: MATM - 006	

Created by Nx Student Edition



Detaili täielikud mõõtmed vastavalt Matriits 4.stp failile

	Materjal: Teras SKS3	Märkimata piirhälbed: IT7	Mass: 0,01 kg	Mõõt: 8:1
Teostas:	O. Protsin	<h1>Matriits 4</h1>		
Kontrollis:	M. Eerme			
Kinnitas:	M. Eerme			
TALTECH		Leht: 1/1	Tähis: MATM - 007	

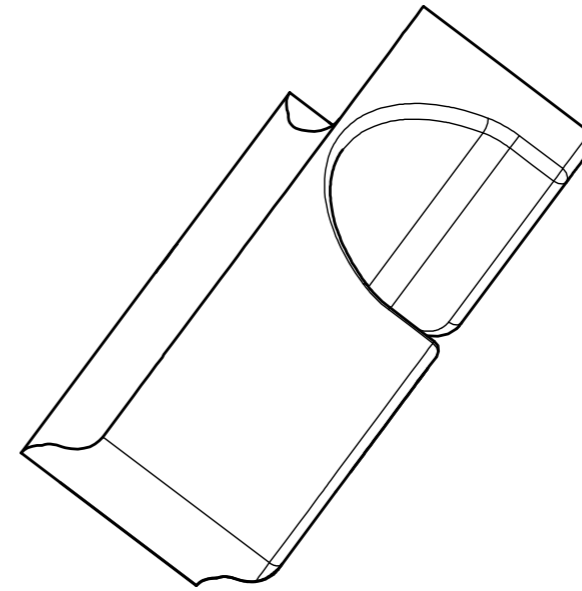
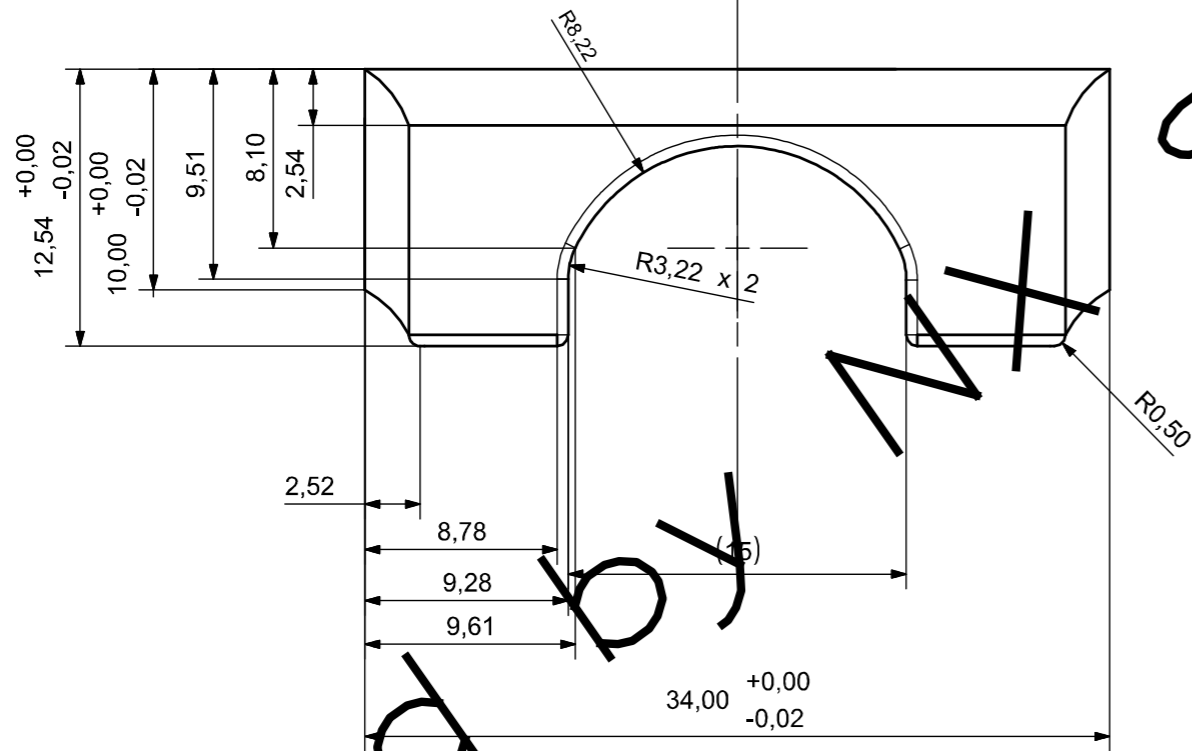
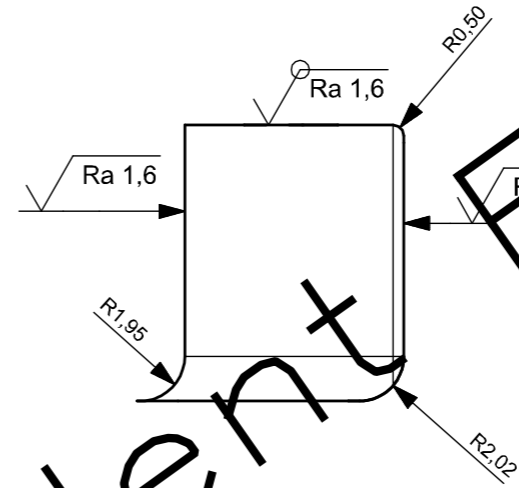
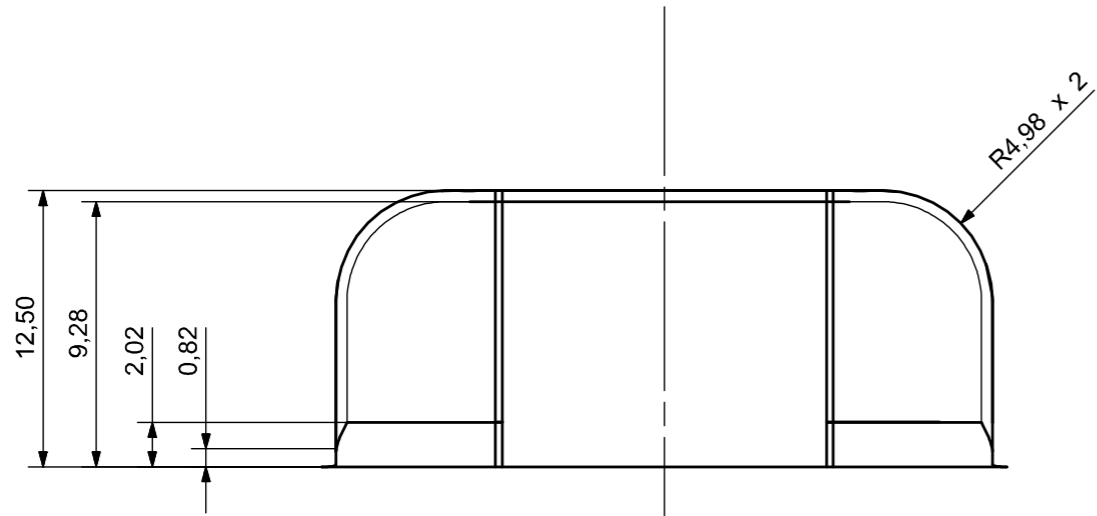


Student Edition

Created by Mx

Detaili täielikud mõõtmed vastavalt Tempel 5.stp failile

	Materjal: Teras SKS3	Märkimata piirhälbed: IT7	Mass: 0,01 kg	Mõõt: 3:1
Teostas:	O. Protsin	<h1>Tempel 5</h1>		
Kontrollis:	M. Eerme			
Kinnitas:	M. Eerme			
TALTECH		Leht: 1/1	Tähis: MATM - 008	

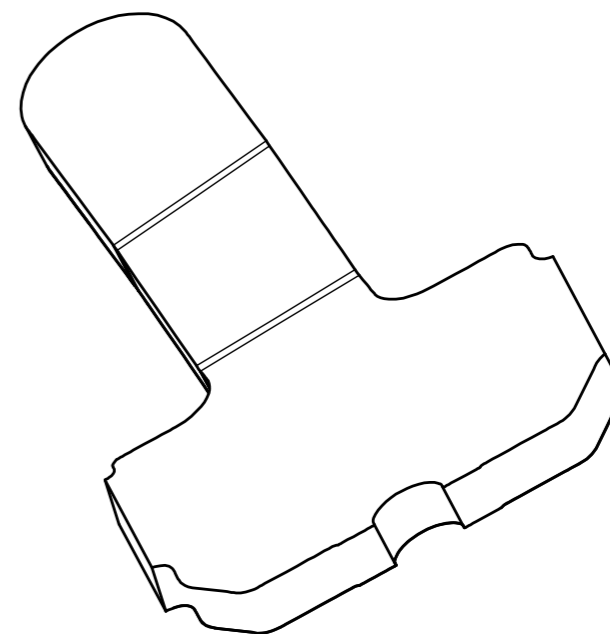
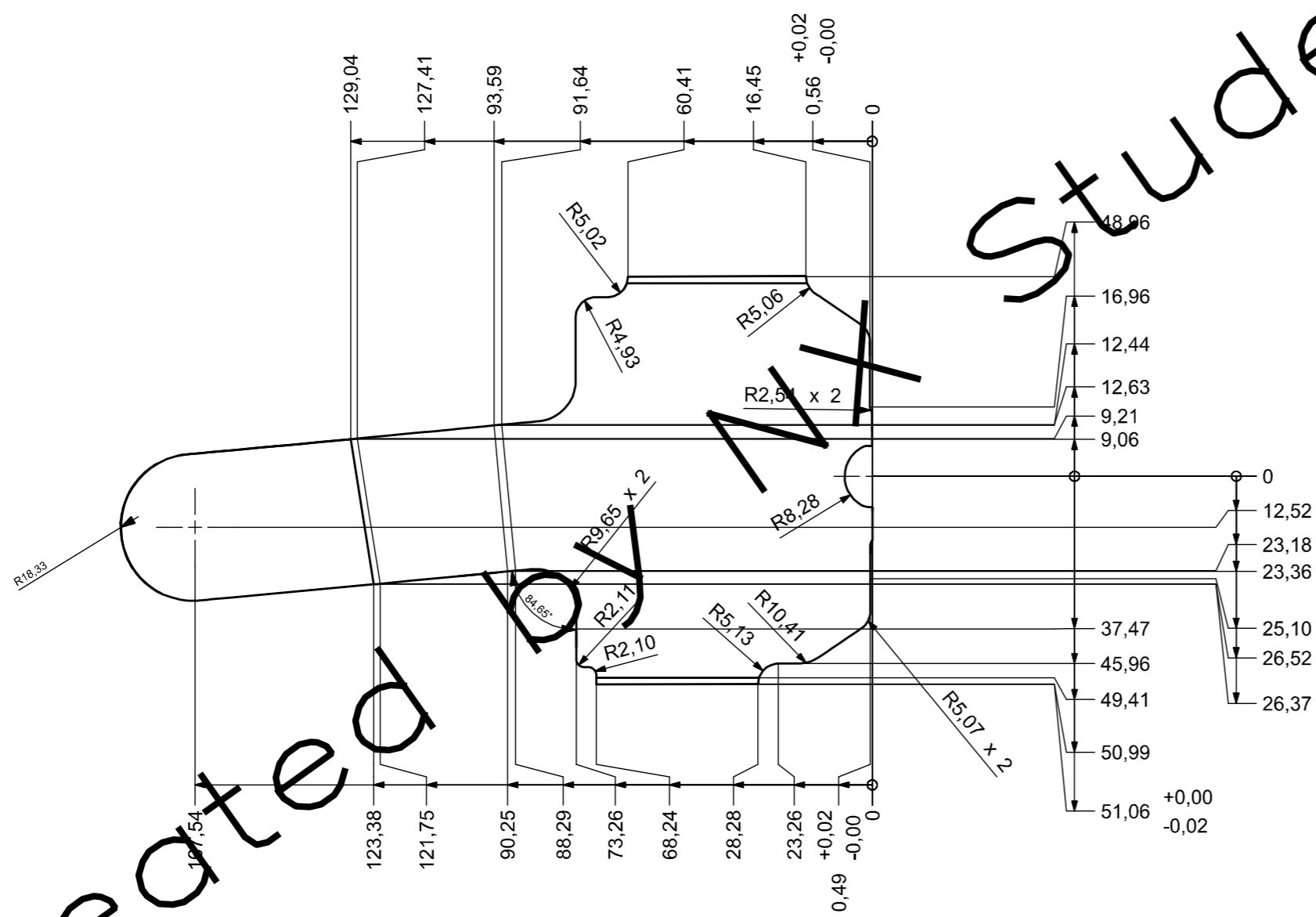
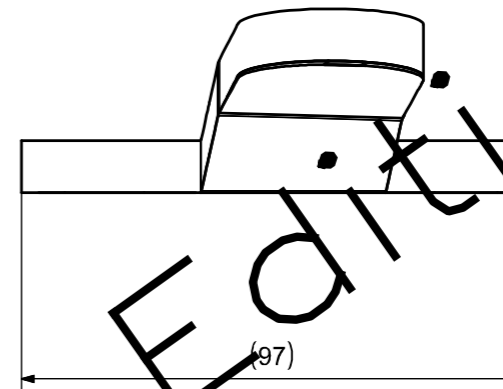
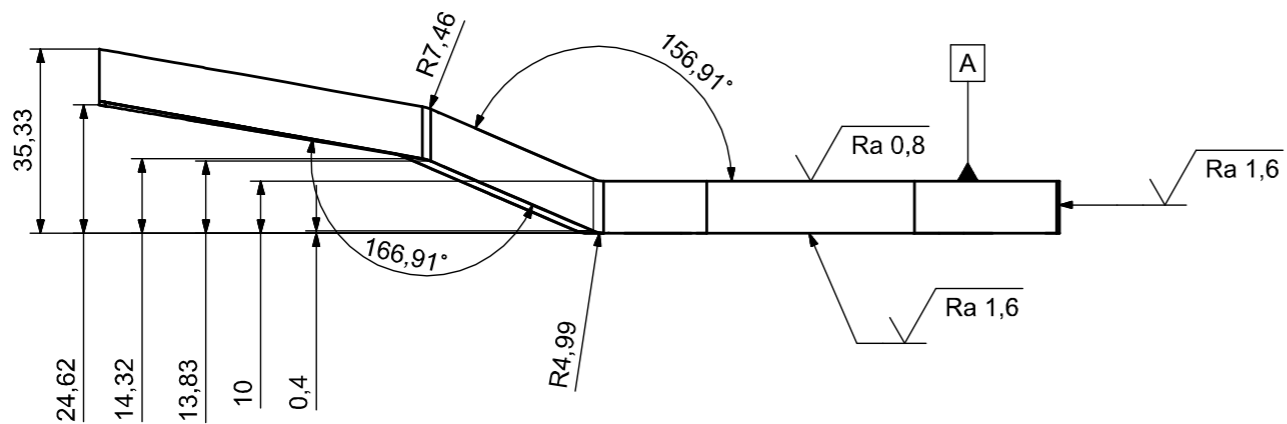


Detaili täielikud mõõtmed vastavalt Matriits 5.stp failile.

	Materjal: Teras SKS3	Märkimata piirhälbed: IT7	Mass: 0,02 kg	Mõõt: 3:1
Teostas:	O. Protsin	<h1>Matriits 5</h1>		
Kontrollis:	M. Eerme			
Kinnitas:	M. Eerme			
TALTECH		Leht: 1/1	Tähis: MATM - 009	

Created by Mx

Student Edition

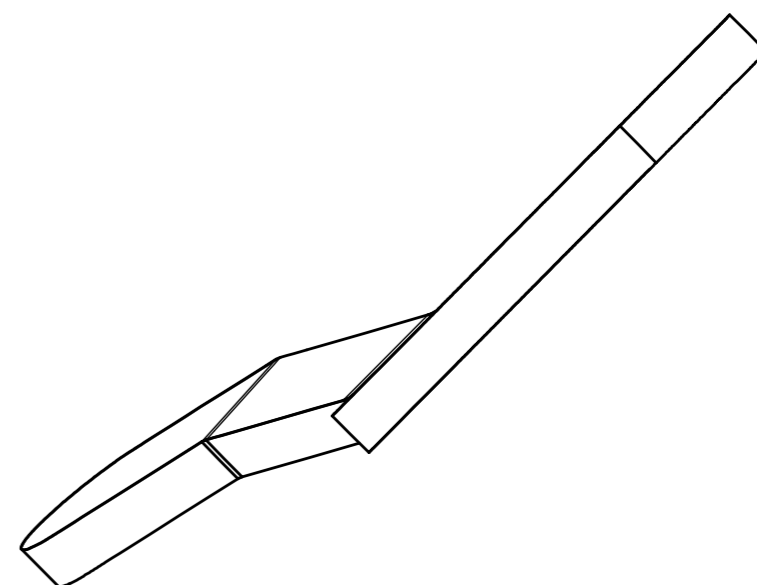
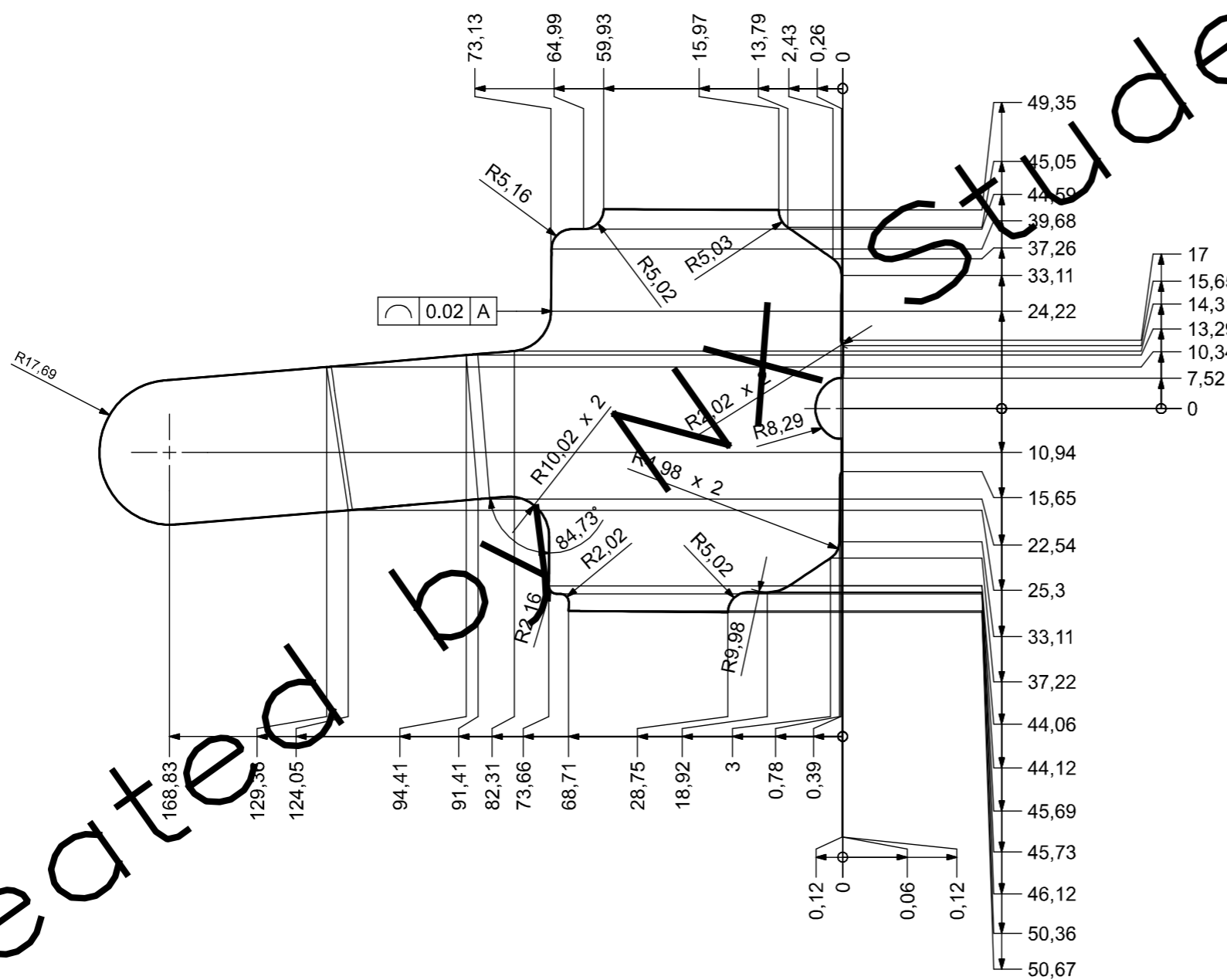
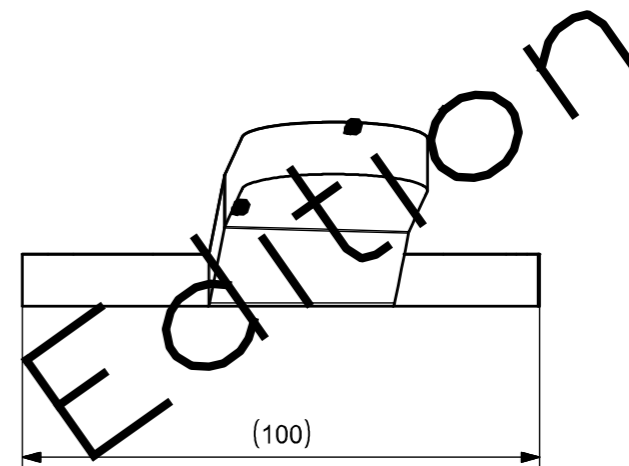
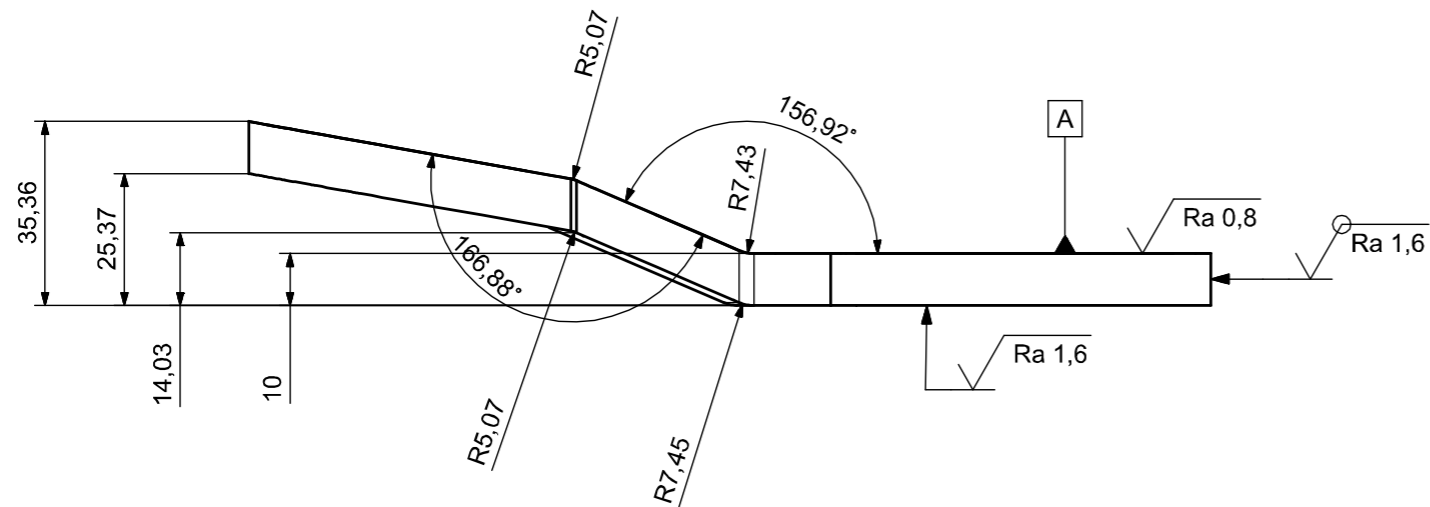


Detalli täielikud mõõtmed vastavalt Temple 6.stp failile

	Materjal: Teras SKS3	Märkimata piirhälbed: IT7	Mass: 2.10 kg	Mõõt: 1:1
Teostas:	O. Protsin	<b>Tempel 6</b>		
Kontrollis:	M. Eerme			
Kinnitas:	M. Eerme			
TALTECH		Leht: 1/1	Tähis: MATM-010	

Created by

Student Edition

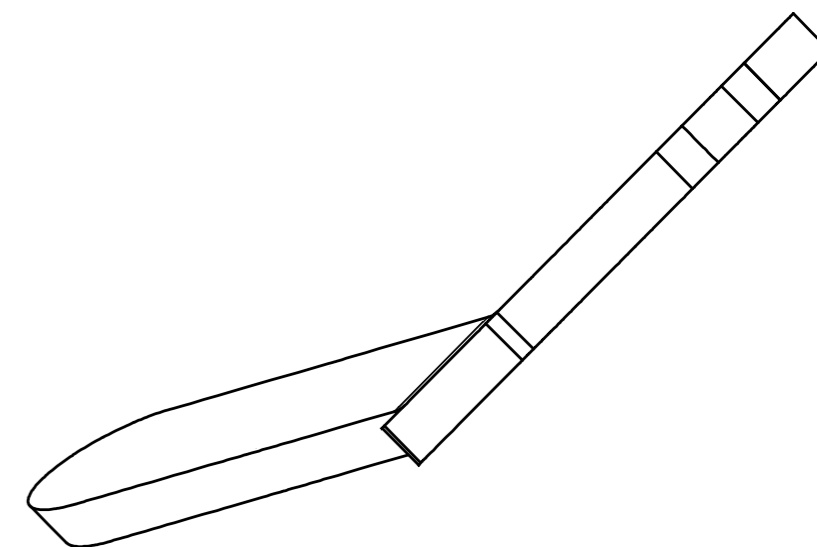
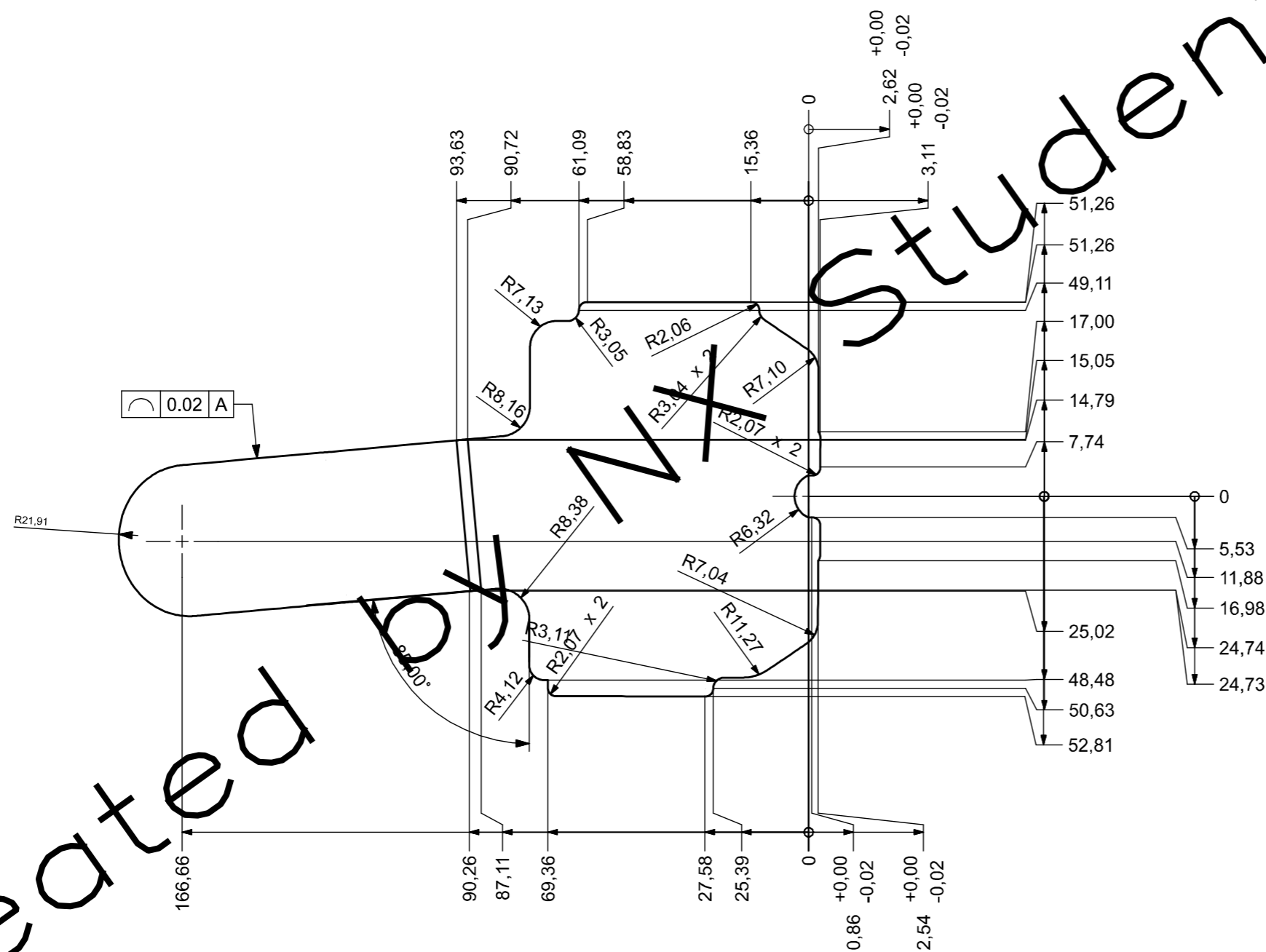
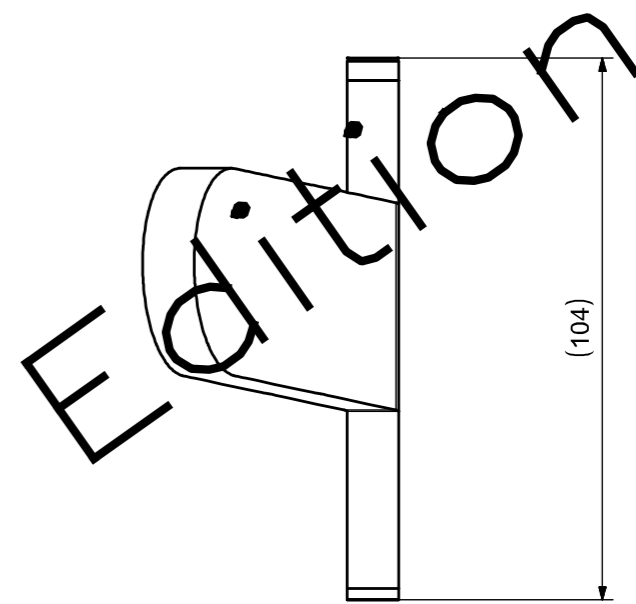
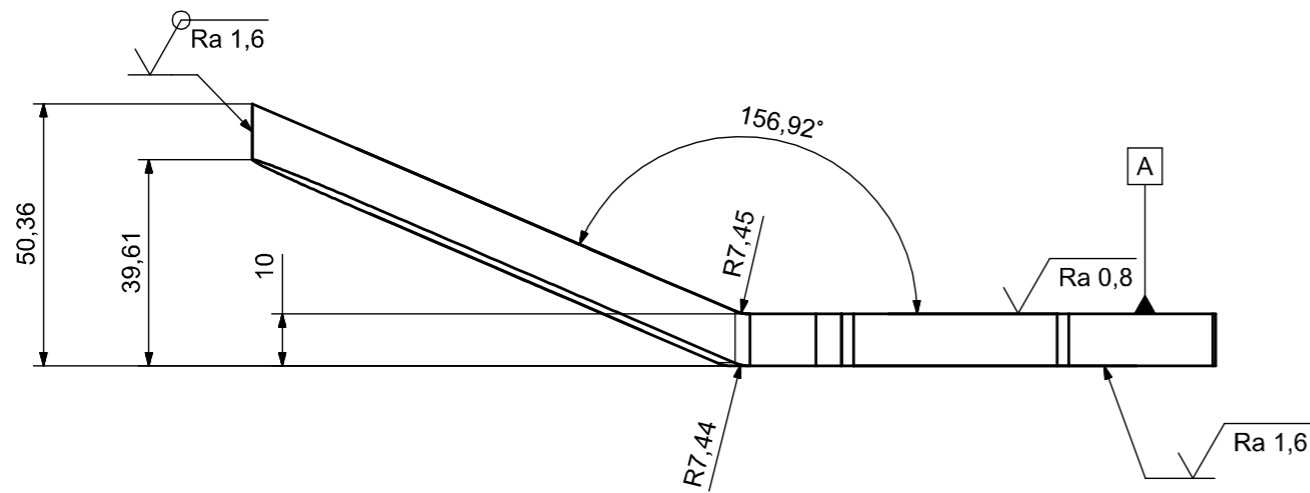


Detalli täielikud mõõtmed vastavalt Matriits 6.stp failile

	Materjal: Teras SKS3	Märkimata piirhalded: IT7	Mass: 2,20 kg	Mööti: 1:1
Teostas:	O. Protsin	<h1>Matriits 6</h1>		
Kontrollis:	M. Eerme			
Kinnitas:	M. Eerme			
TALTECH		Leht: 1/1	Tähis: MATM - 011	

Created by b1

Student Edition



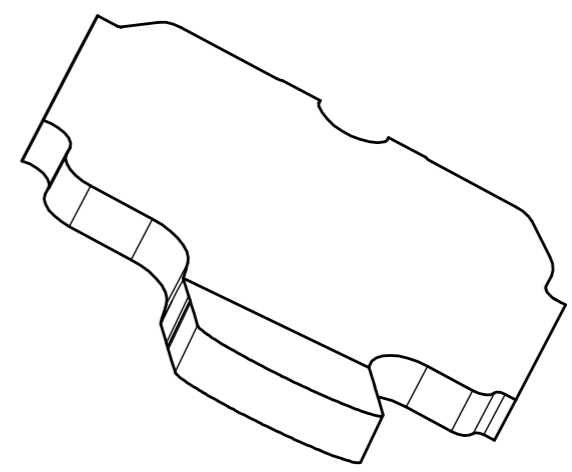
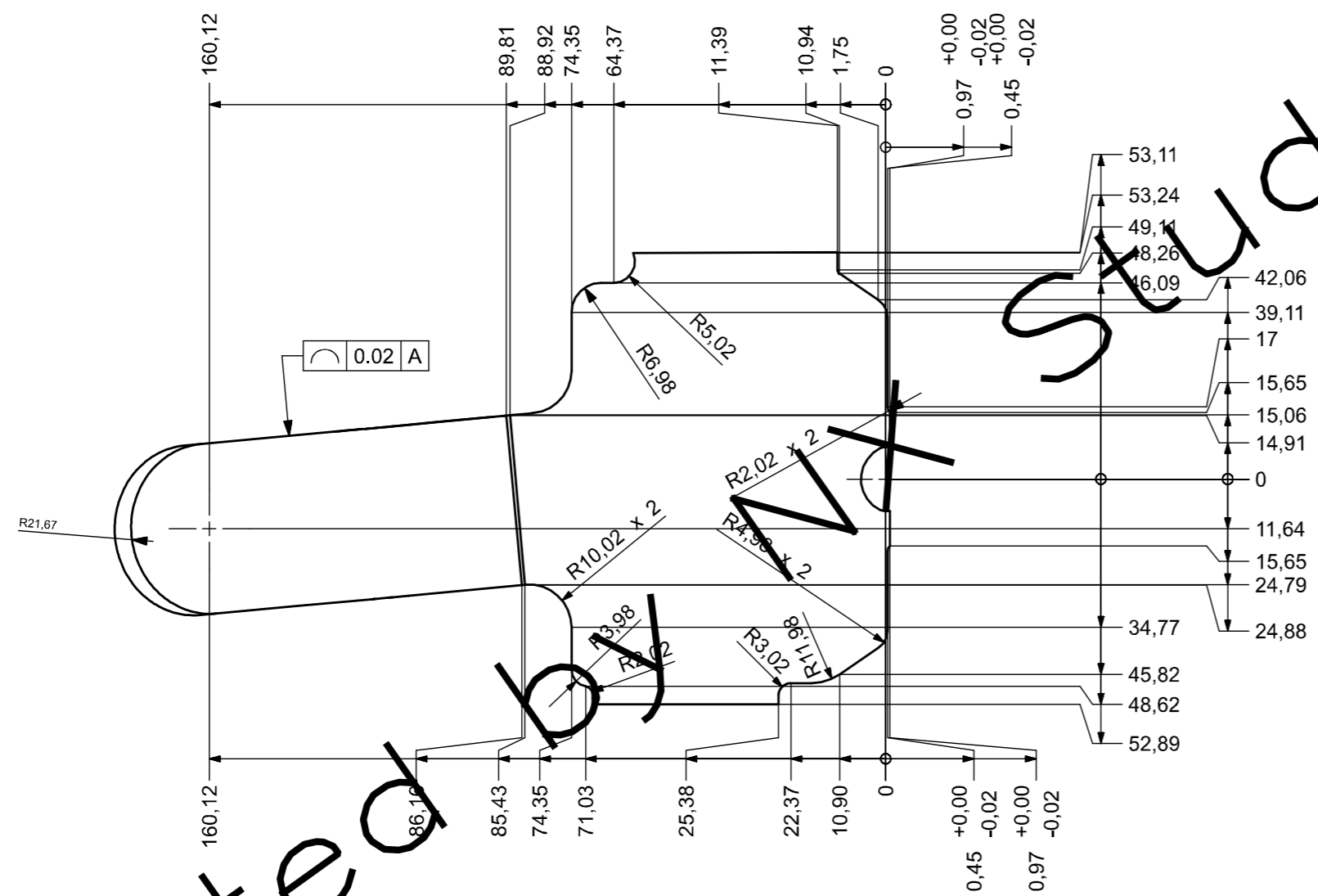
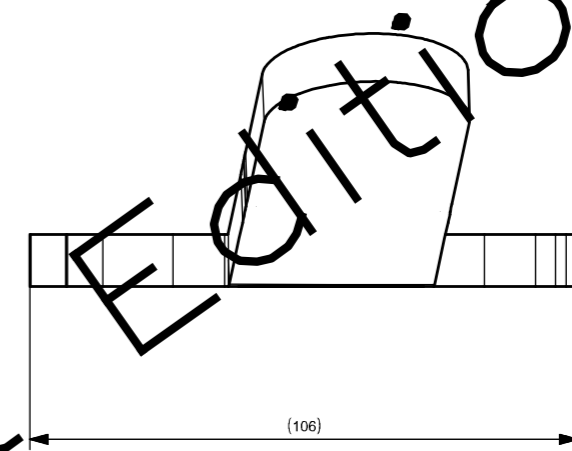
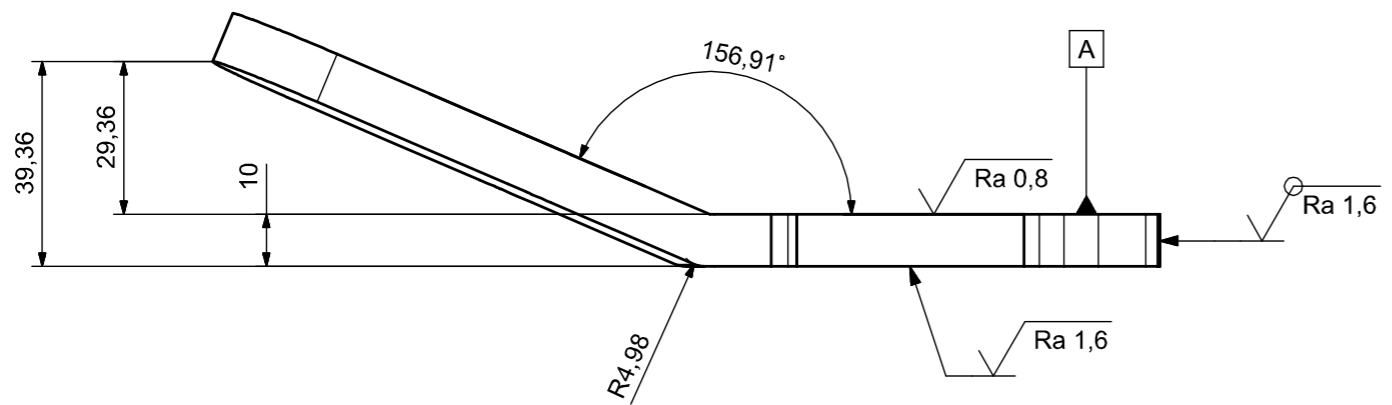
Detaili täielikud mõõtmed vastavalt Tempel 7.stp failile

	Materjal: Teras SKS3	Märkimata piirhalded: IT7	Mass: 2,01 kg	Moot: 1:1
Teostas:	O. Protsin	<h1>Tempel 7</h1>		
Kontrollis:	M. Eerme			
Kinnitas:	M. Eerme			
TALTECH		Leht: 1/1	Tähis: MATM-012	

Created by

Student

Edition

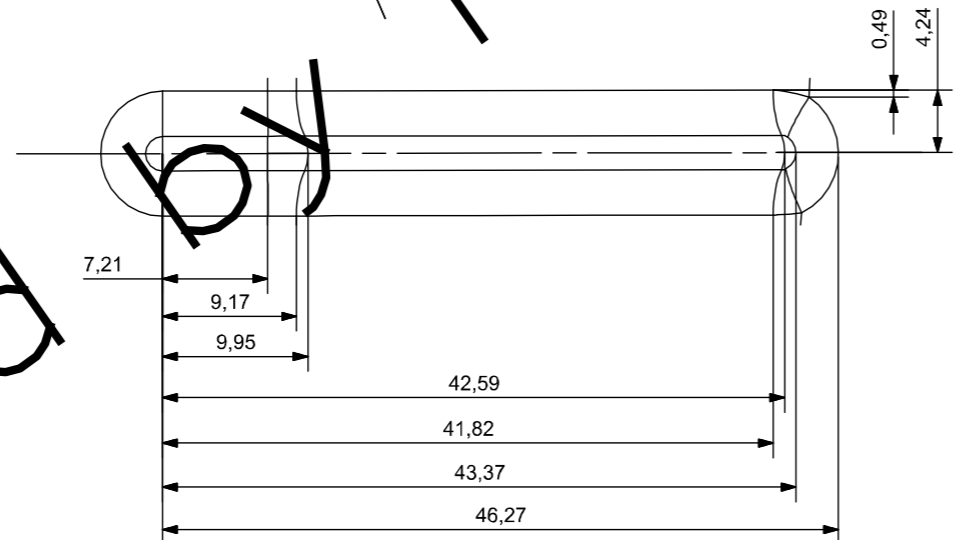
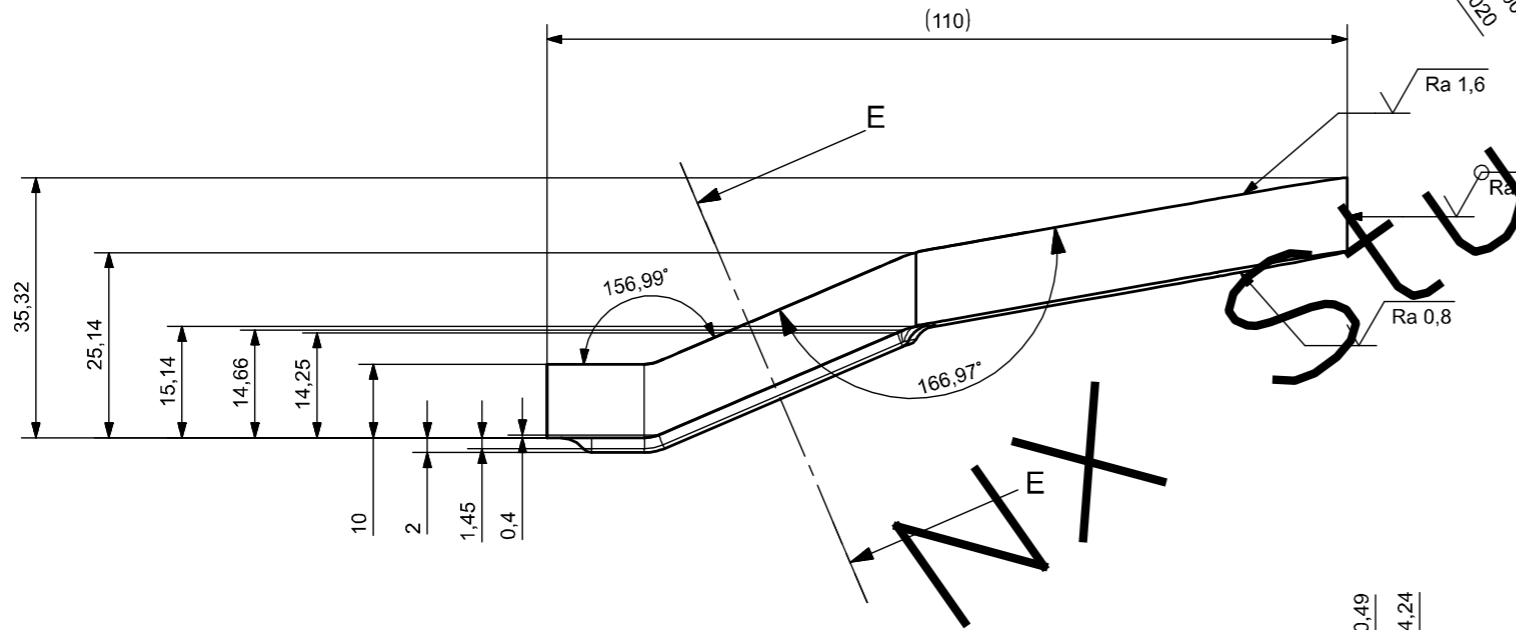
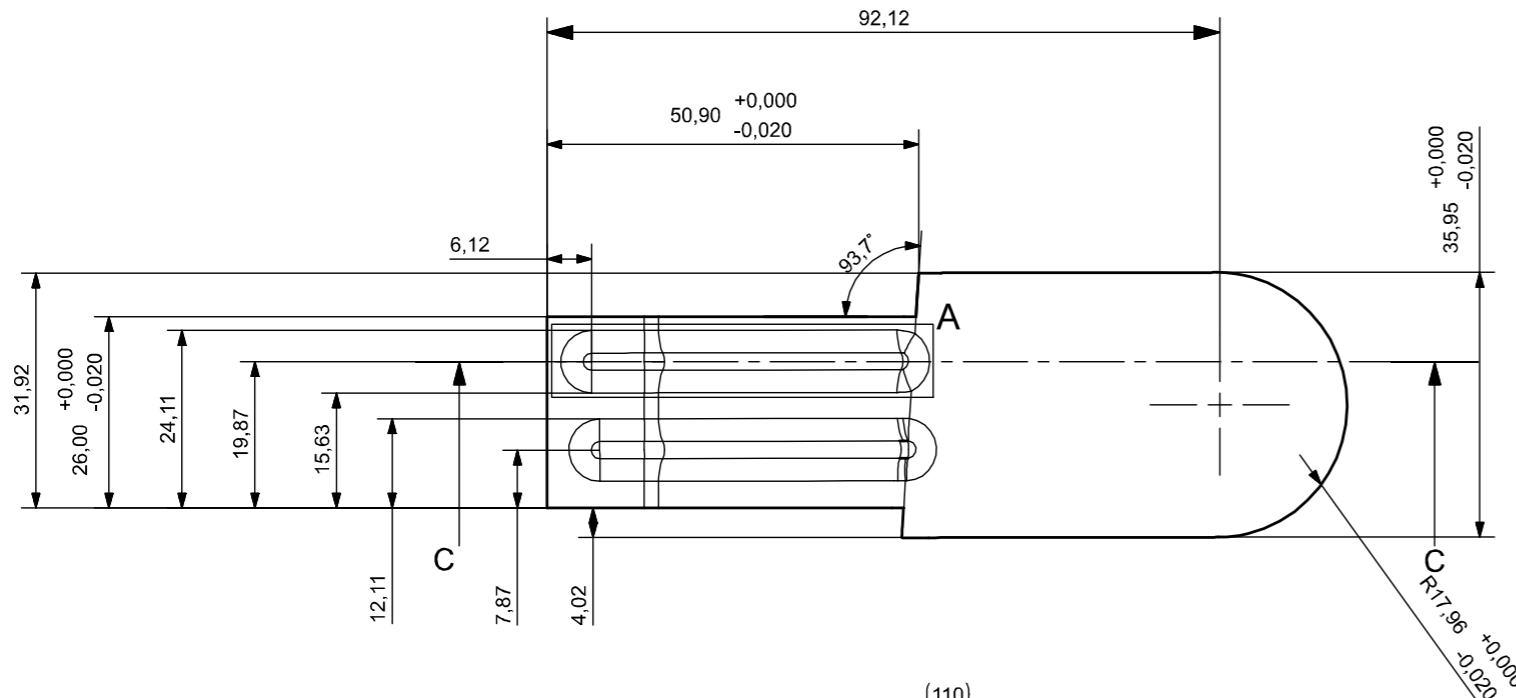


Detaili täielikud mõõtmed vastavalt Matriits 7.stp failile

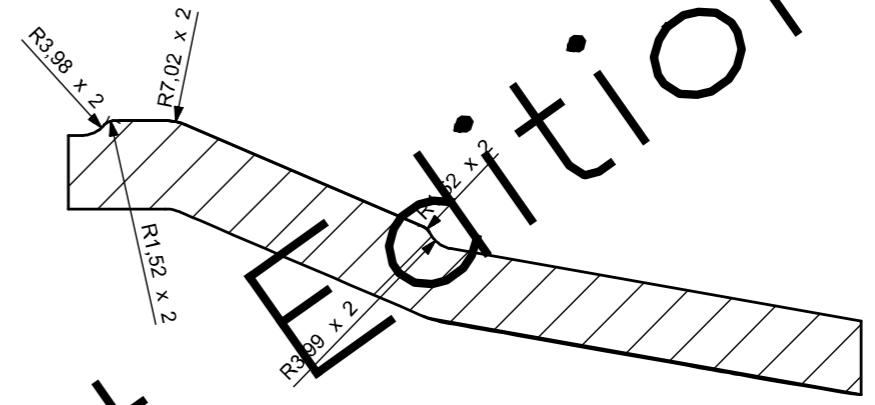
	Materjal: Teras SKS3	Märkimata piirhõbed: IT7	Mass: 1,90 kg	Mõõt: 1:1
Teostas:	O. Protsin	<h1>Matriits 7</h1>		
Kontrollis:	M. Eerme			
Kinnitas:	M. Eerme			
TALTECH		Leht: 1/1	Tähis: MATM-013	

Created by

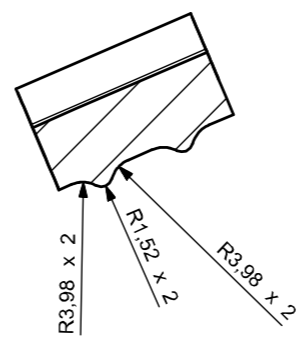
Student Edition



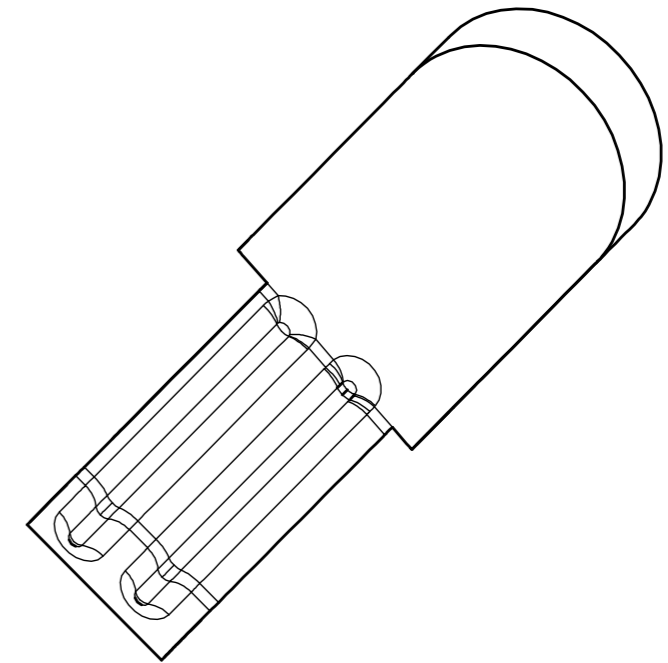
DETAILA  
SCALE 2:1



SECTION C-C



SECTION E-E

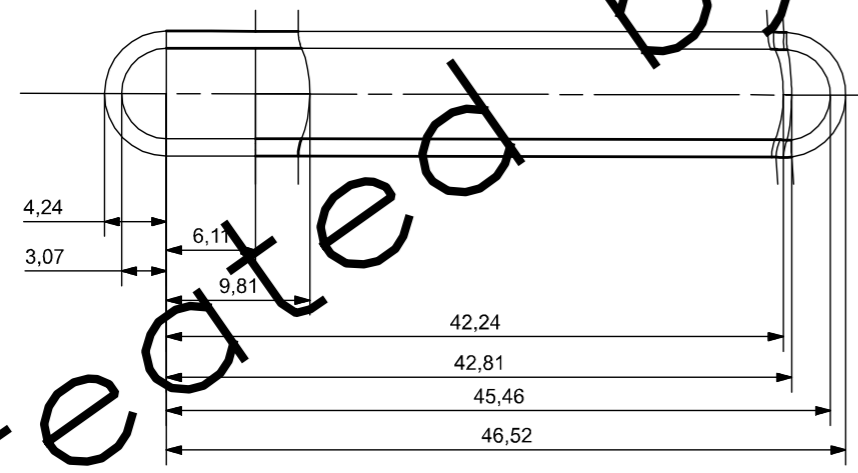
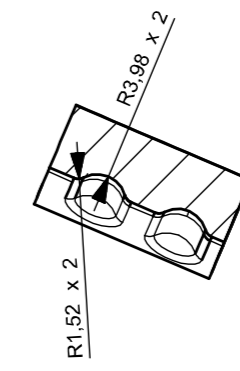
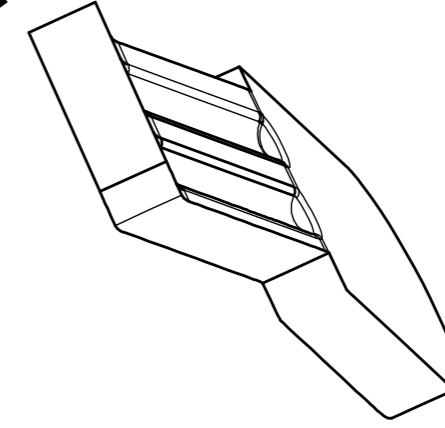
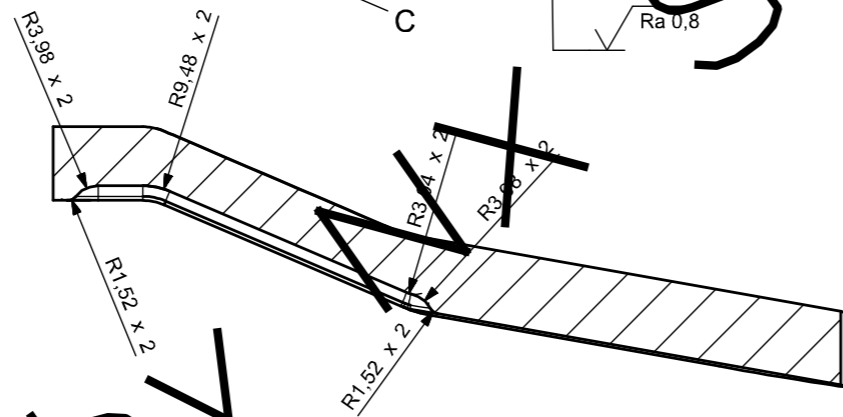
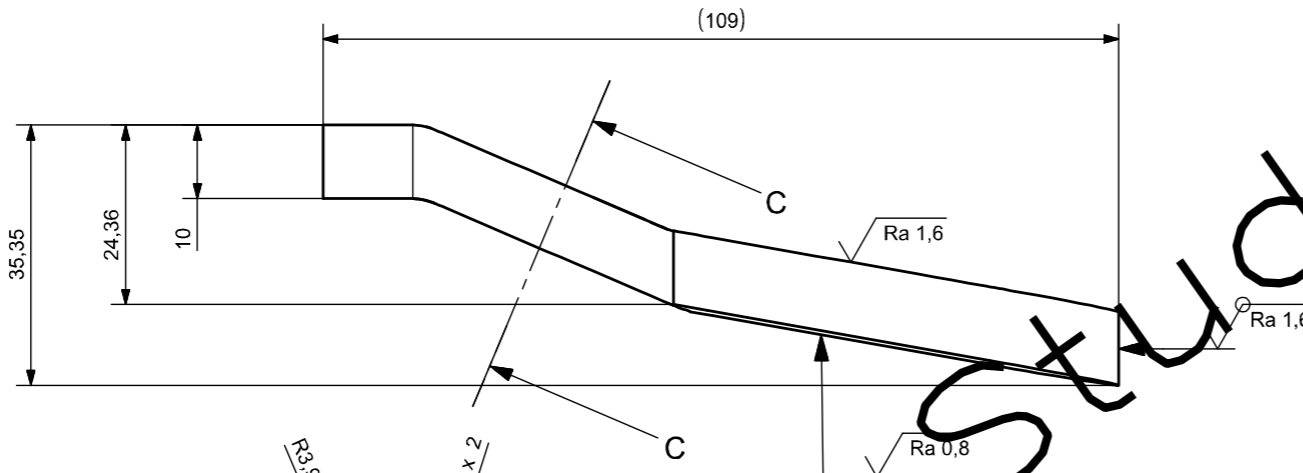
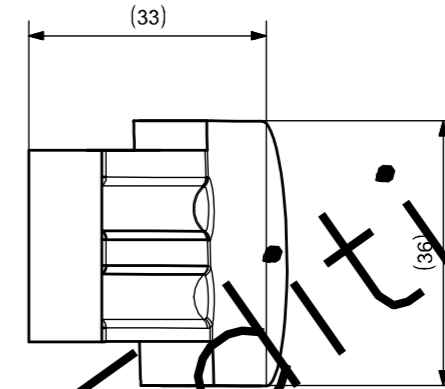
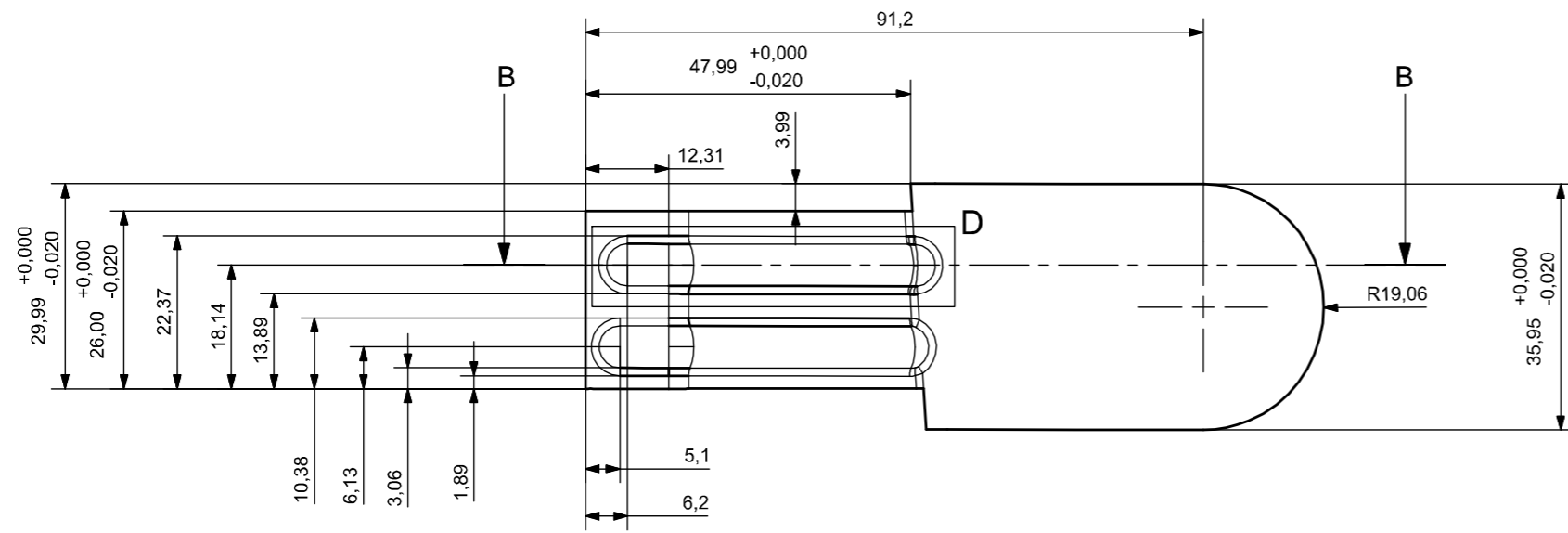


Detaili täielikud mõõtmed vastavalt Tempel 8.stp failile

	Materjal: Teras SKS3	Märkimata piirhälbed: IT7	Mass: 0,51 kg	Mööd: 1:1
Teostas:	O. Protsin	<h1>Tempel 8</h1>		
Kontrollis:	M. Eerme			
Kinnitas:	M. Eerme			
TALTECH		Leht: 1/1	Tähis: MATM - 014	

Created by

Student Edition

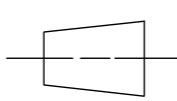
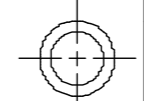


DETAIL D  
SCALE 2:1

SECTION B-B

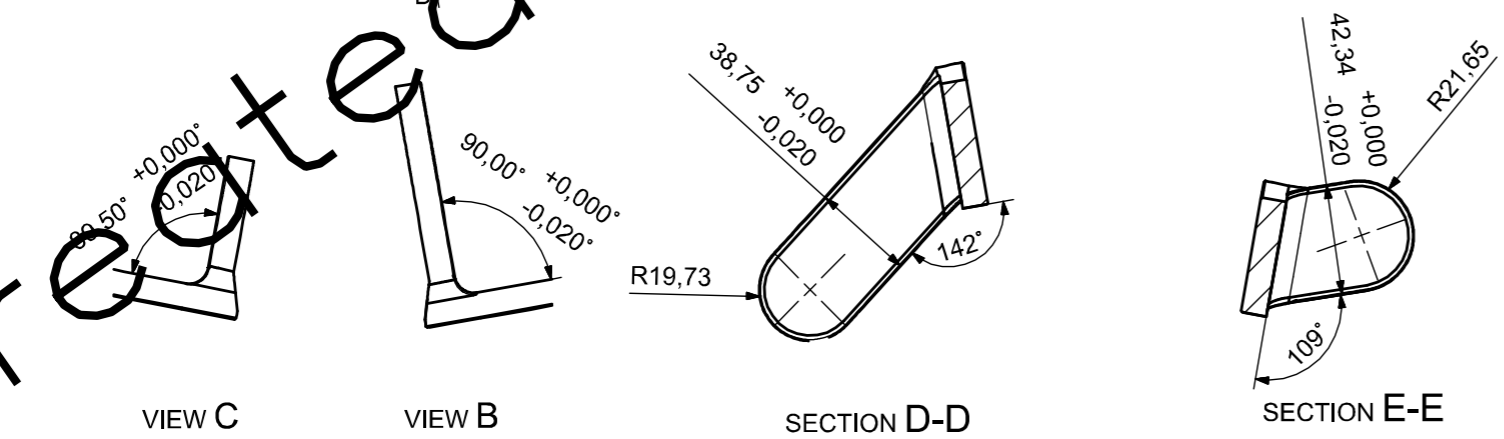
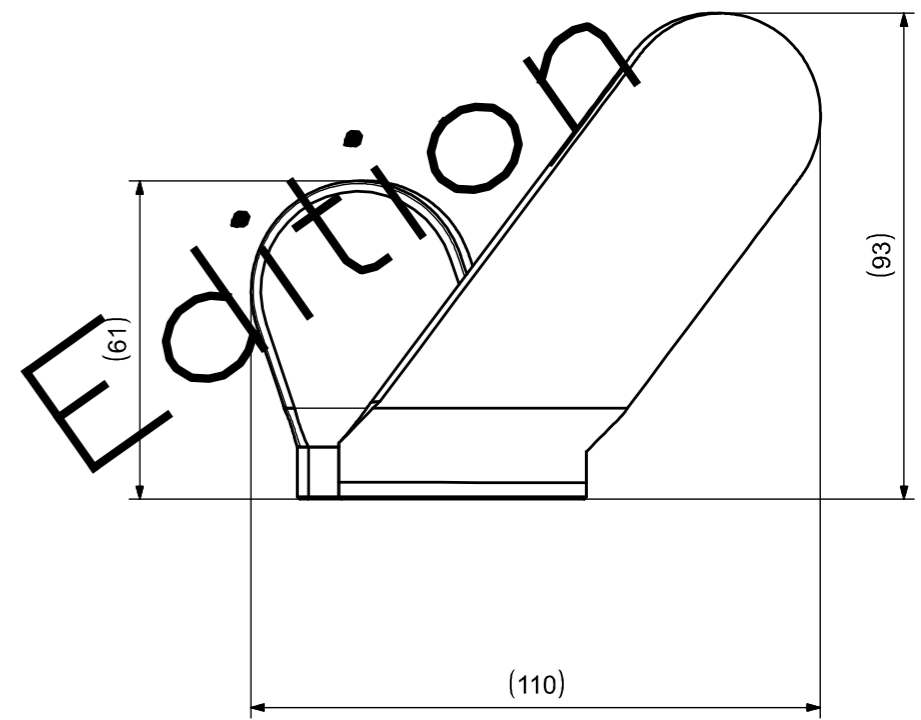
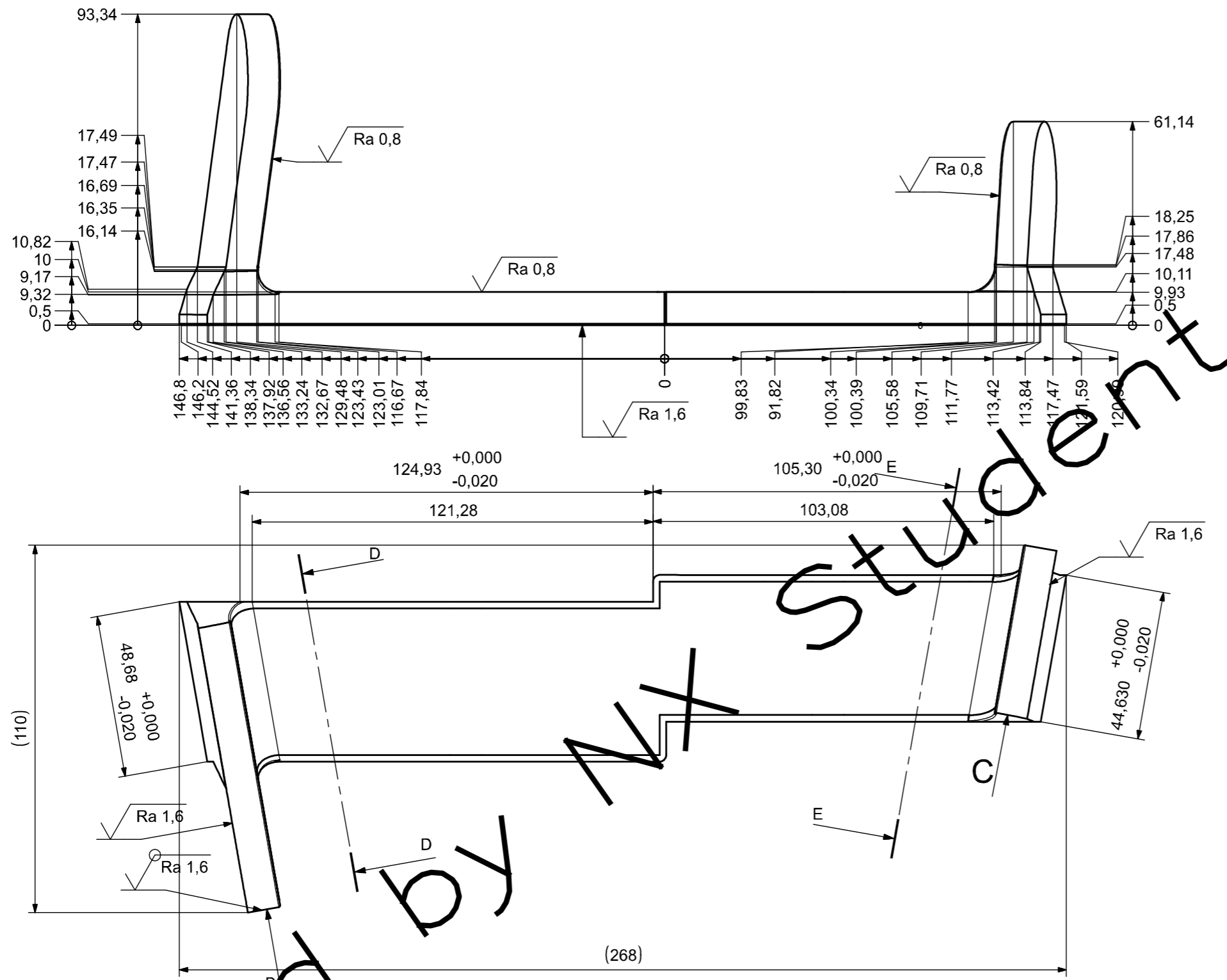
SECTION C-C

Detaili täielikud mõõtmed vastavalt Matriit 8.stp failile

		Materjal: Teras SKS3	Märkimata piirhälbed: IT7	Mass: 0,50 kg	Mõõt: 1:1
Teostas:	O. Protsin	<h1>Matriits 8</h1>			
Kontrollis:	M. Eerme				
Kinnitas:	M. Eerme				
TALTECH			Leht: 1/1	Tähis: MATM - 015	

Created by

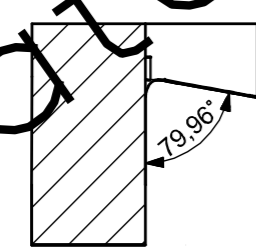
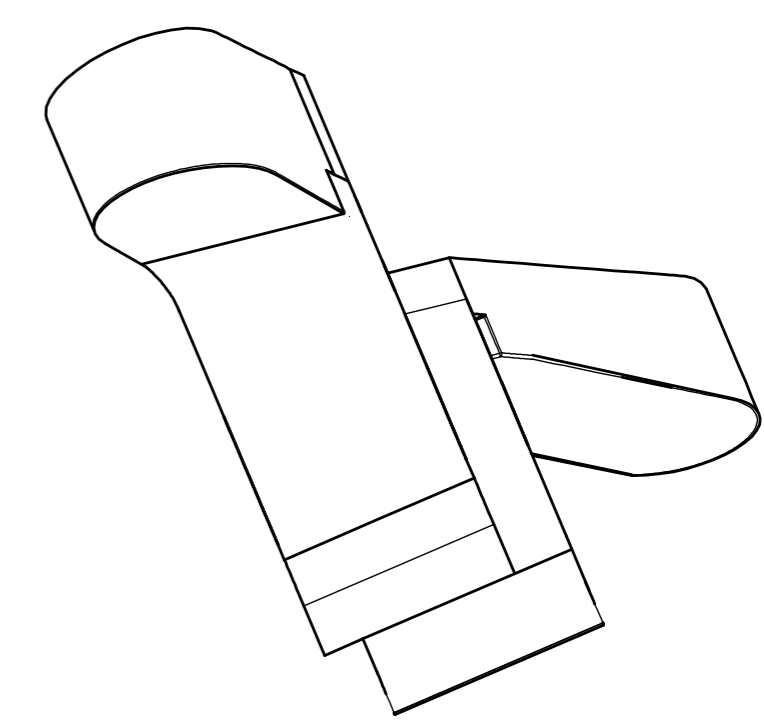
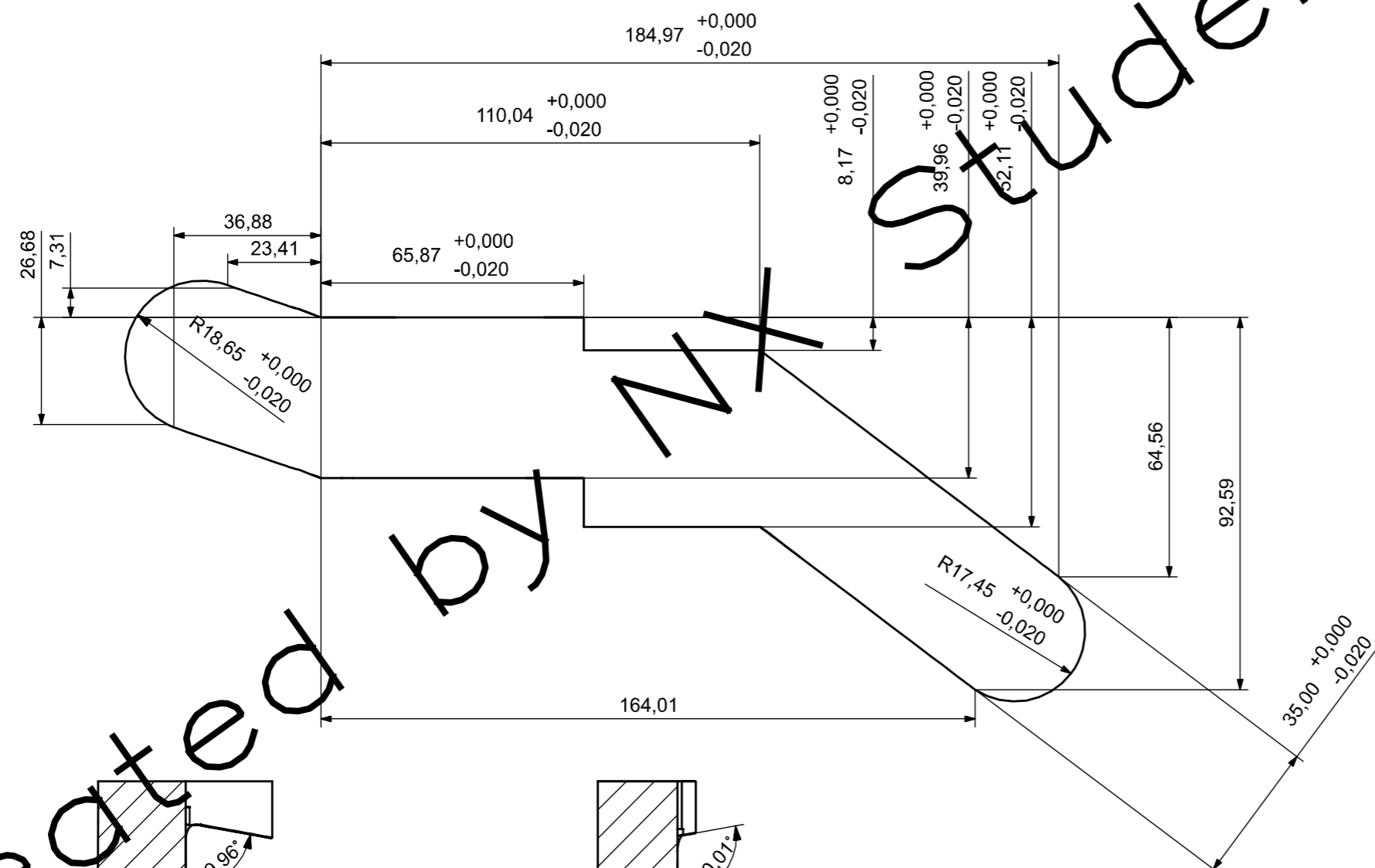
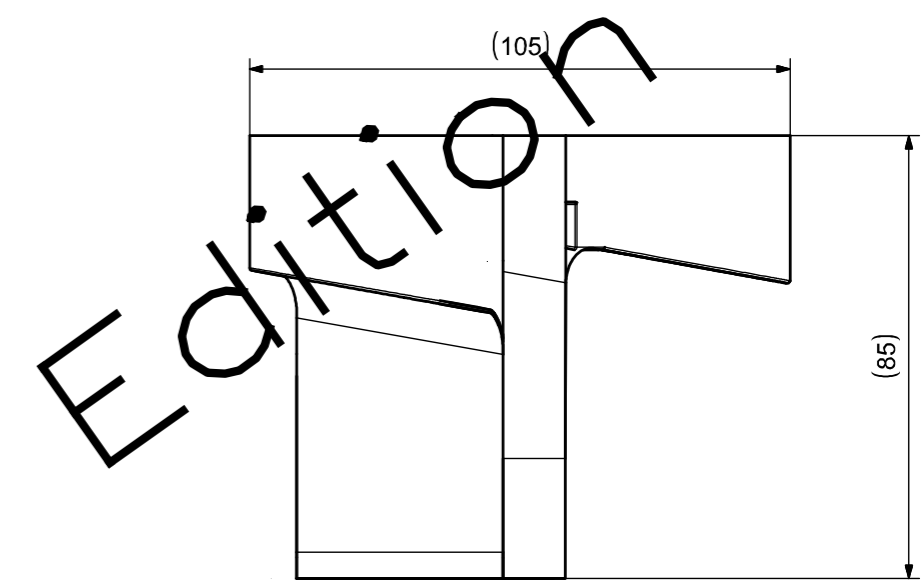
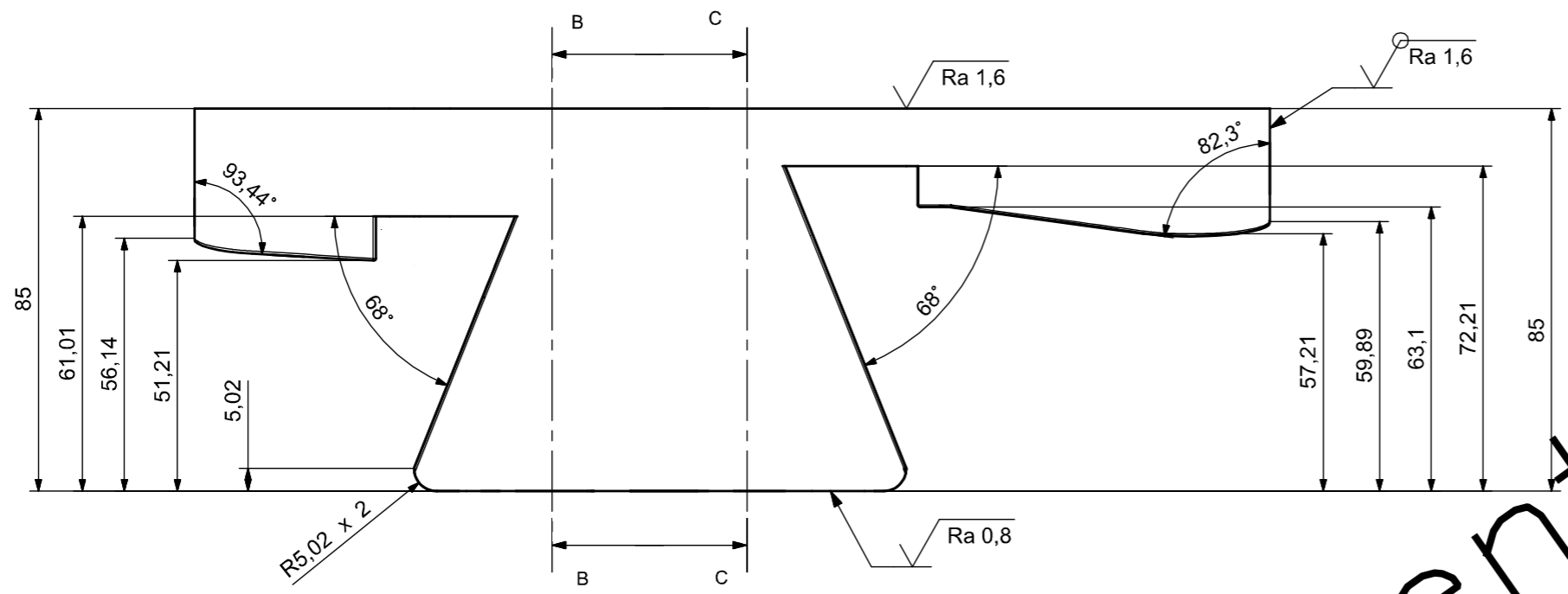
Student Edition



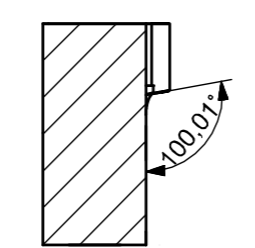
Detaili täielikud mõõtmed vastavalt Tempel 9.stp failile

		Materjal: Teras SKS3	Märkimata piirhalded: IT7	Mass: 2,49 kg	Moot: 1:1
Teostas:	O. Protsin	<b>Tempel 9</b>			
Kontrollis:	M. Eerme				
Kinnitas:	M. Eerme				
TALTECH		Leht: 1/1	Tähis: MATM-016		





SECTION B-B

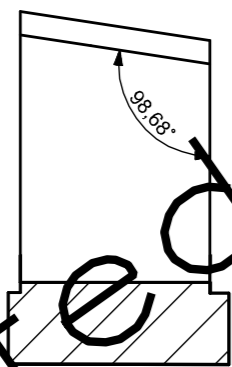
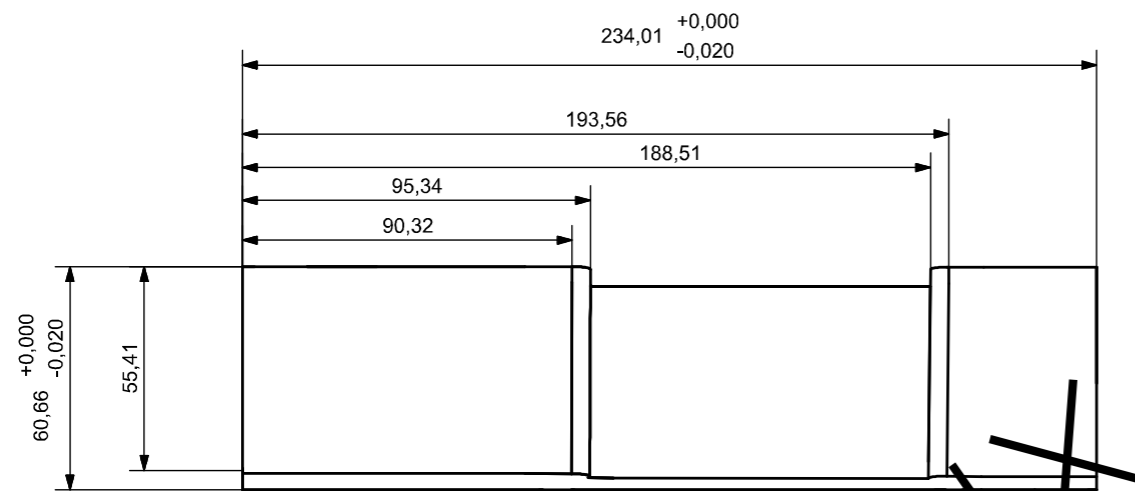
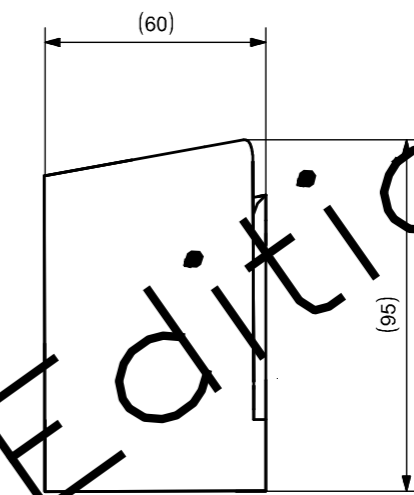
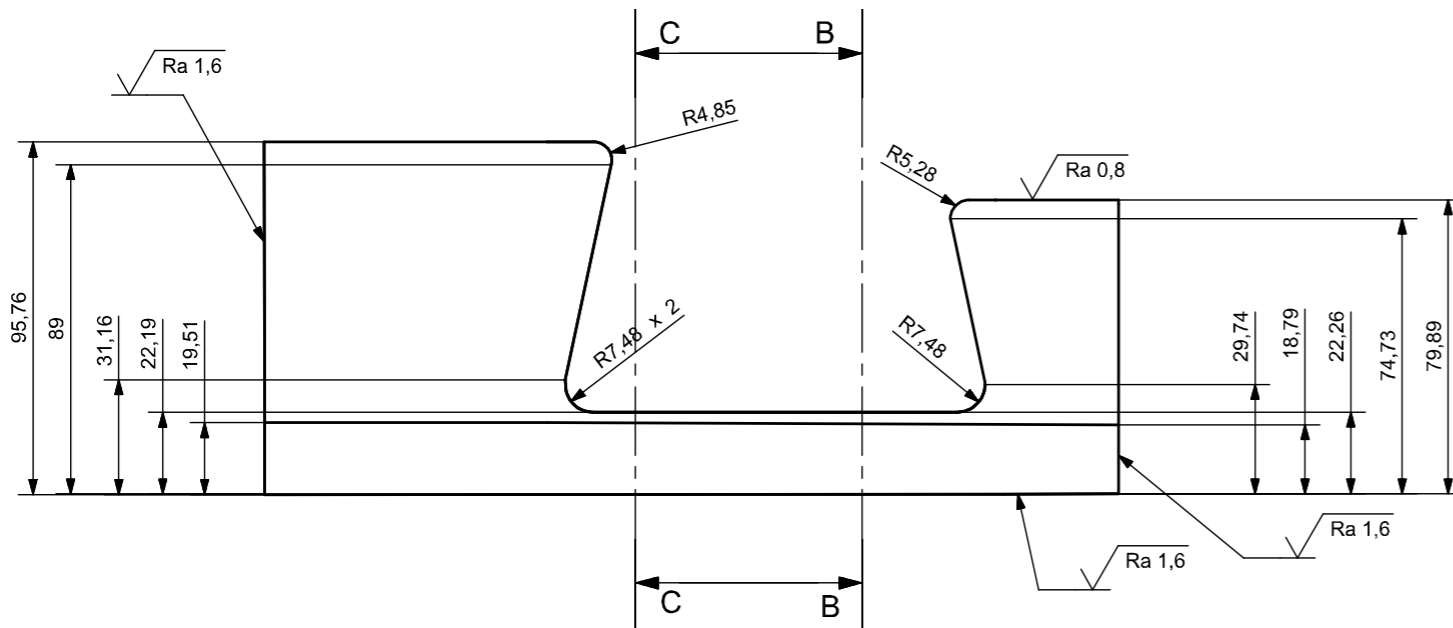


SECTION C-C

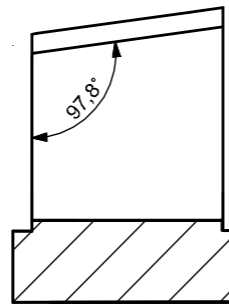
Detaili täielikud mõõtmed vastavalt Tempel 10.stp failile

	Materjal: Teras SKS3	Märkimata piirhälbed: IT7	Mass: 3,11 kg	Mööd: 1:1
Teostas:	O. Protsin	<b>Tempel 10</b>		
Kontrollis:	M. Eeme			
Kinnitas:	M. Eeme			
TALTECH		Leht: 1/1	Tähtis: MATM-018	

Created by NX Student Edition

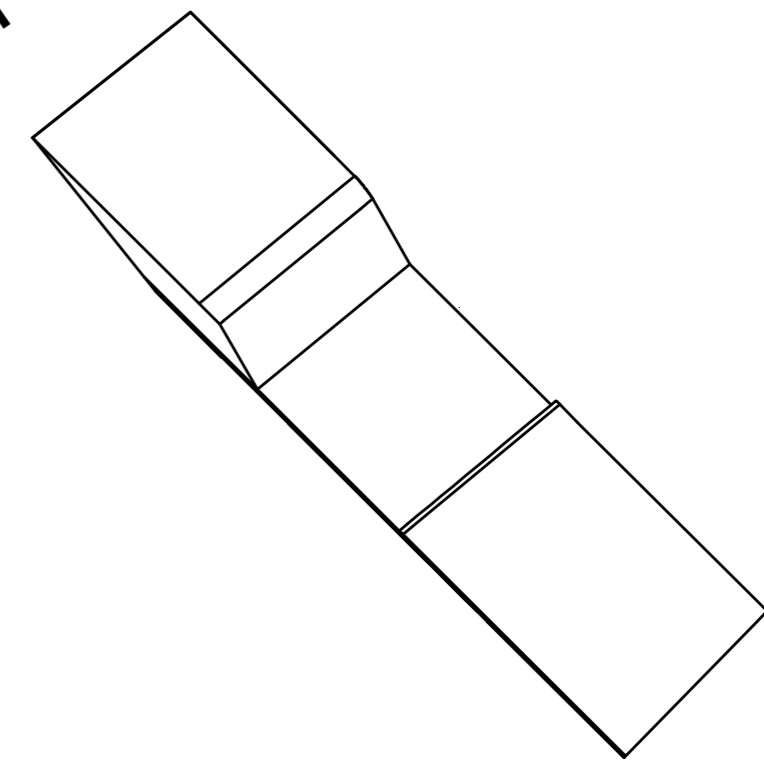


SECTION B-B

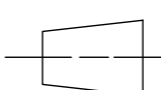
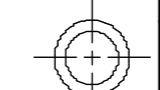


SECTION C-C

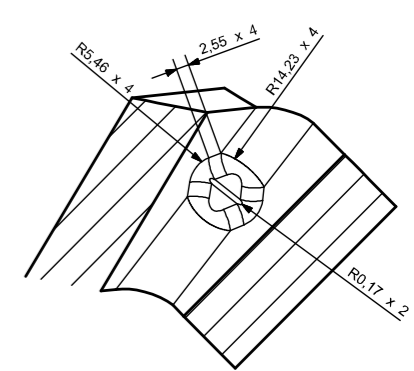
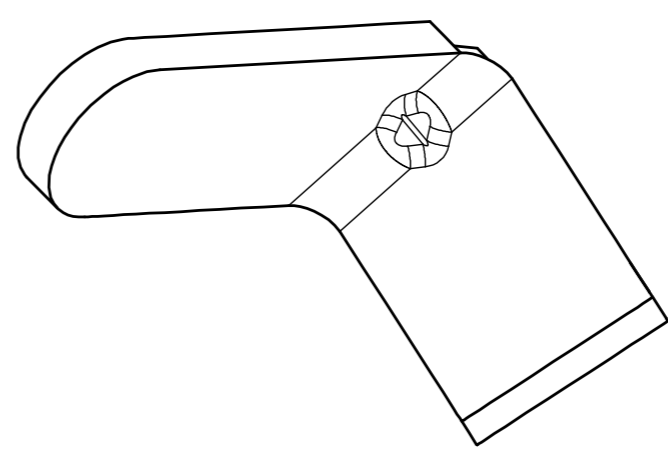
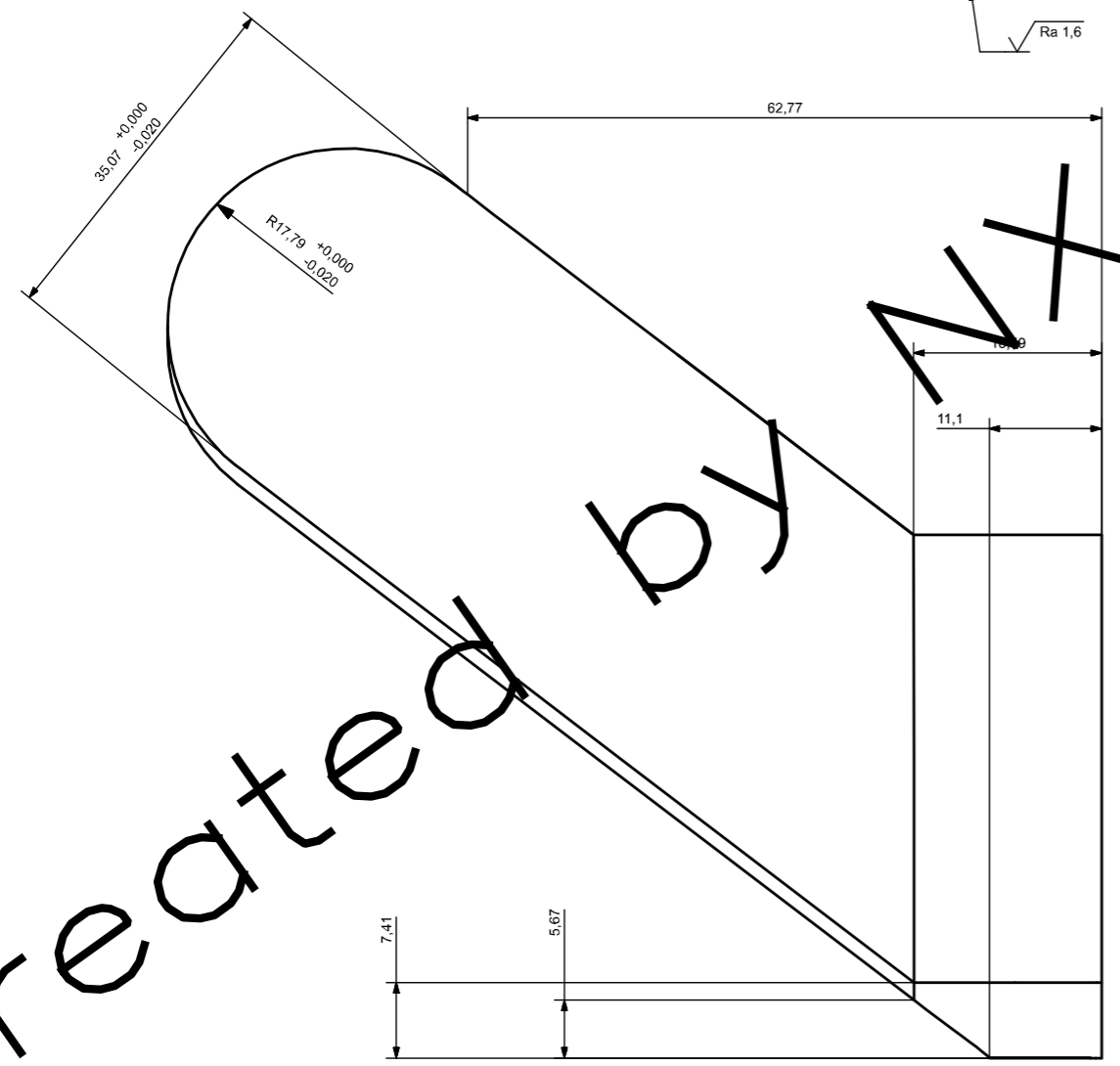
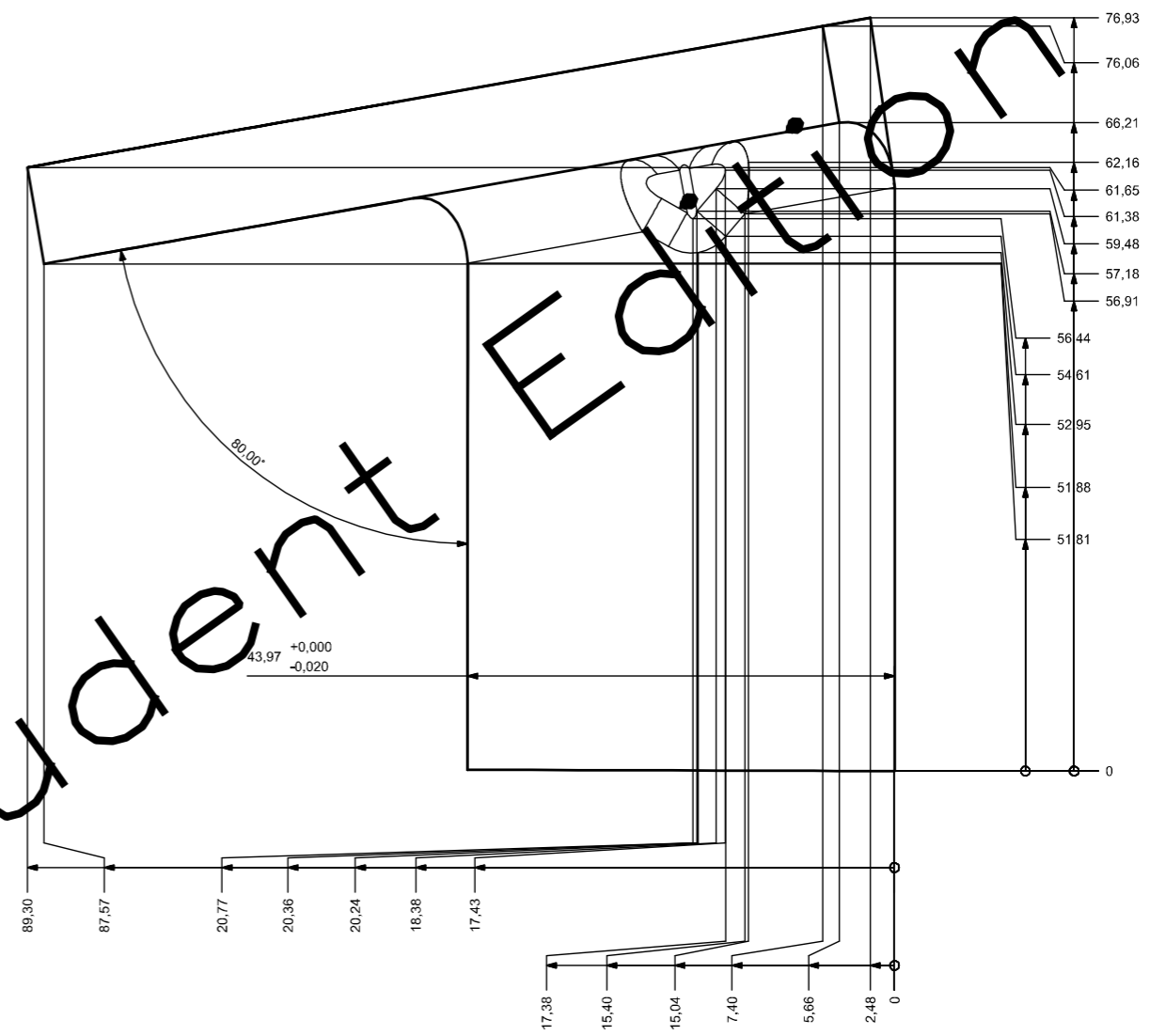
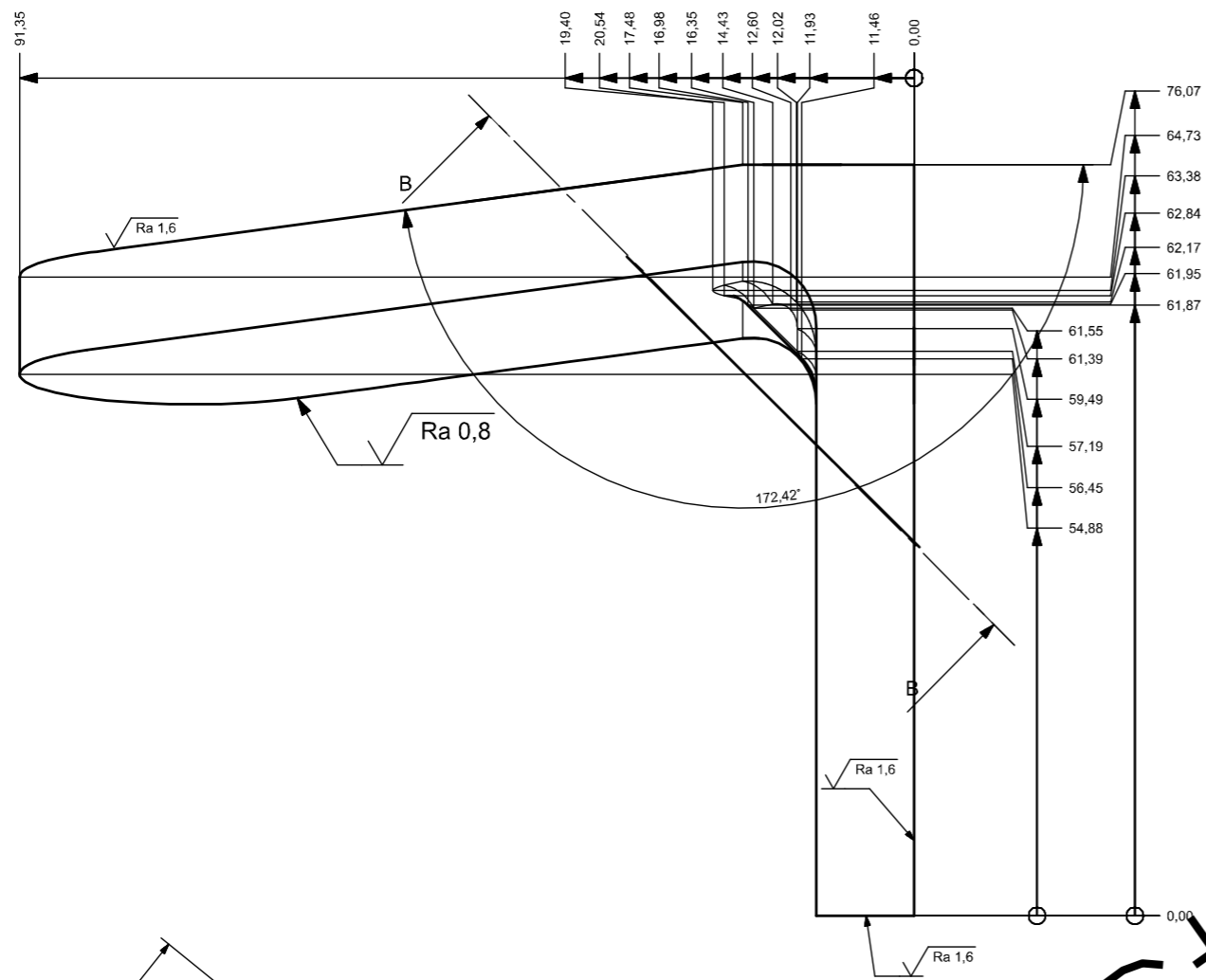
Student Edition



Detaili täielikud mõõtmed vastavalt Matriits 10.stp failile

		Materjal: Teras SKS3	Märkimata pihralbed: IT7	Mass: 3,30 kg	Mõõt: 1:2
Teostas:	O. Protsin	<h1>Matriits 10</h1>			
Kontrollis:	M. Eerme				
Kinnitas:	M. Eerme				
TALTECH			Leht: 1/1	Tähis: MATM - 019	

Created by



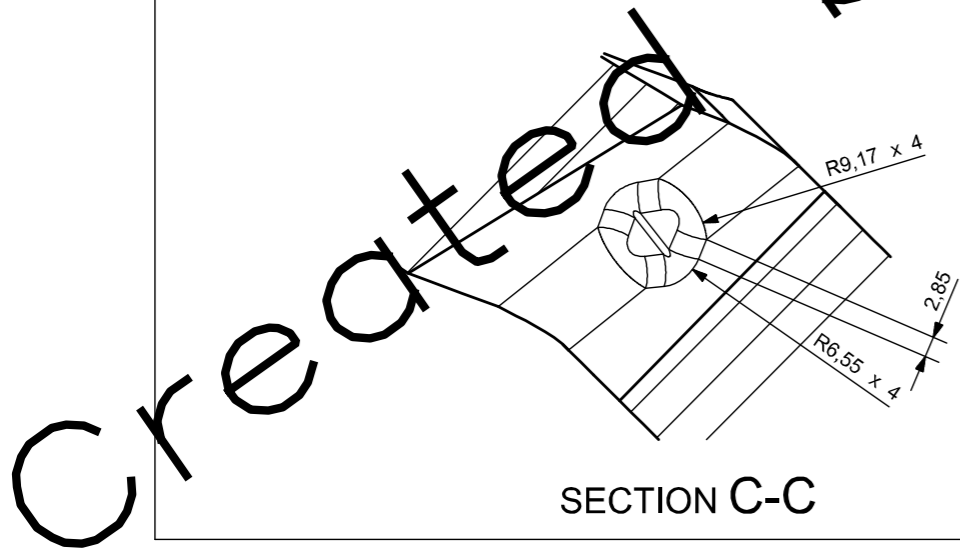
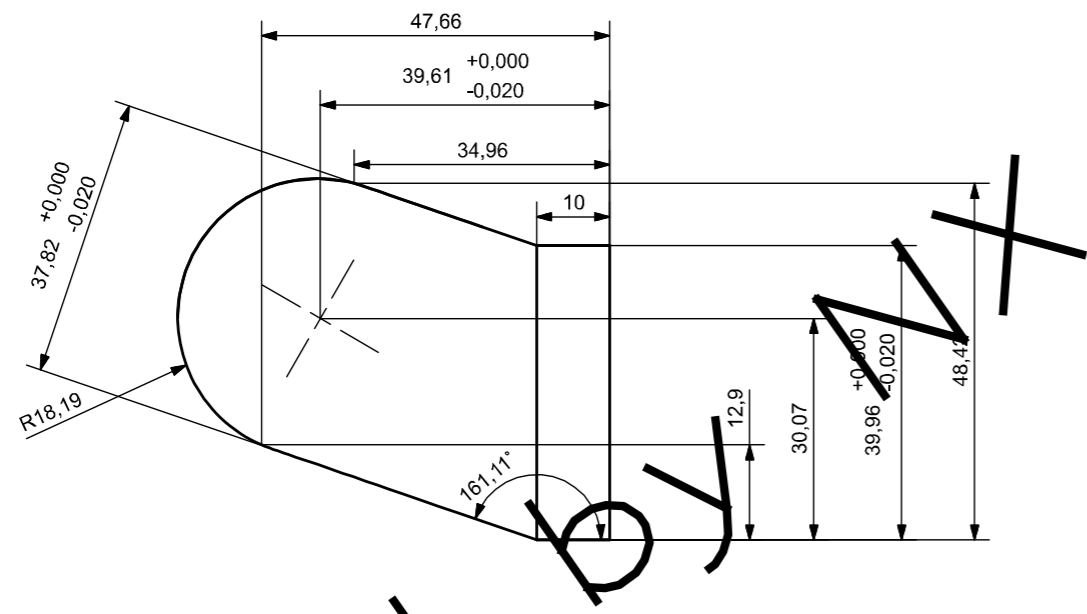
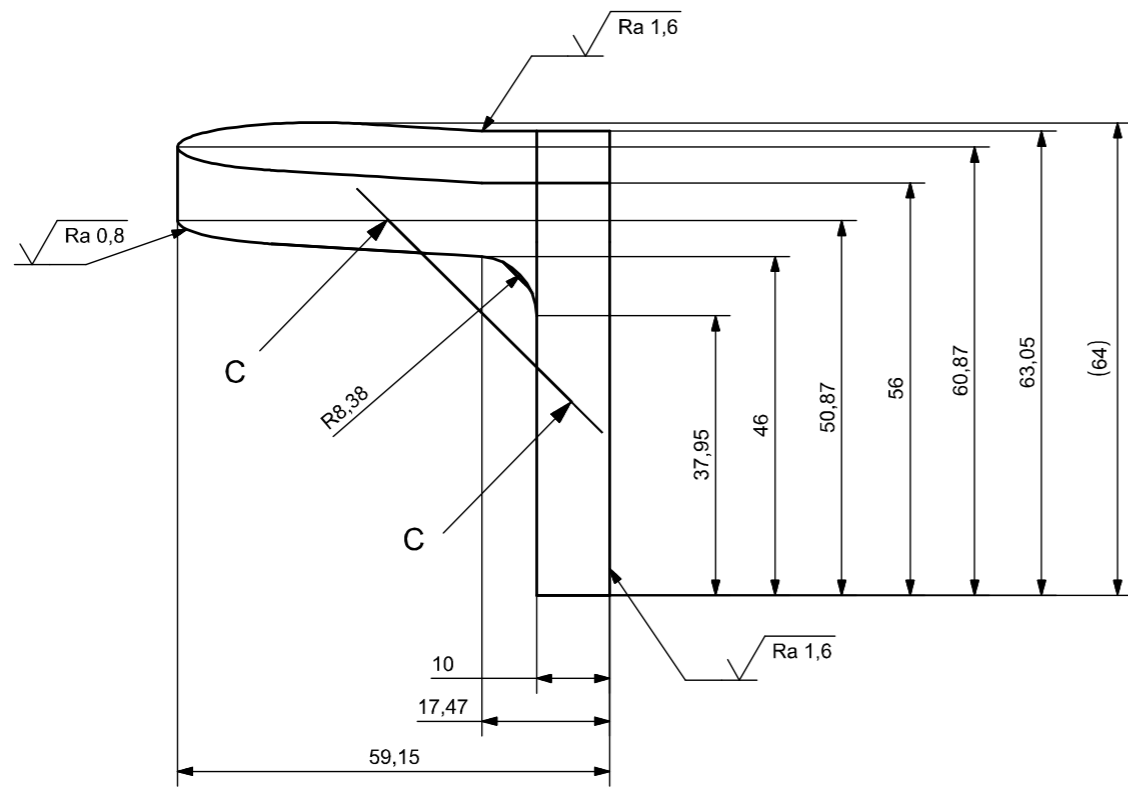
SECTION B-B

		Materjal: Teras SKS3	Märkimata piirhälbed: IT7	Mass: 1.60 kg	Moot: 1:2
Teostas:	O. Protsin	<b>Tempel 11</b>			
Kontrollis:	M. Eerne				
Kinnitas:	M. Eerne				
TALTECH		Leht: 1/1	Tähis: MATM - 020		

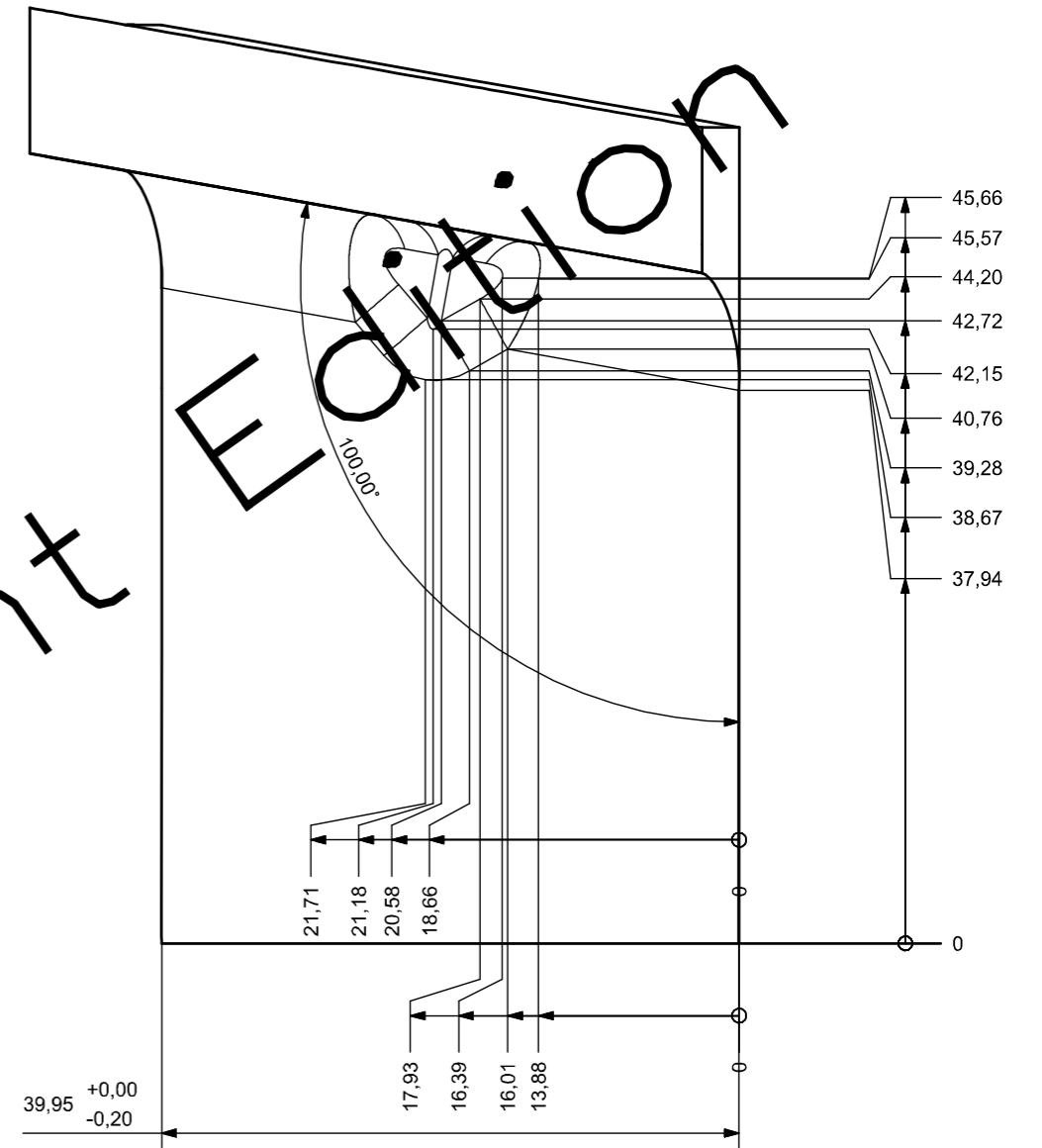
Created by NX

Student Edition

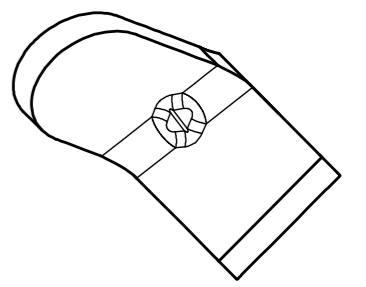




Student Edition



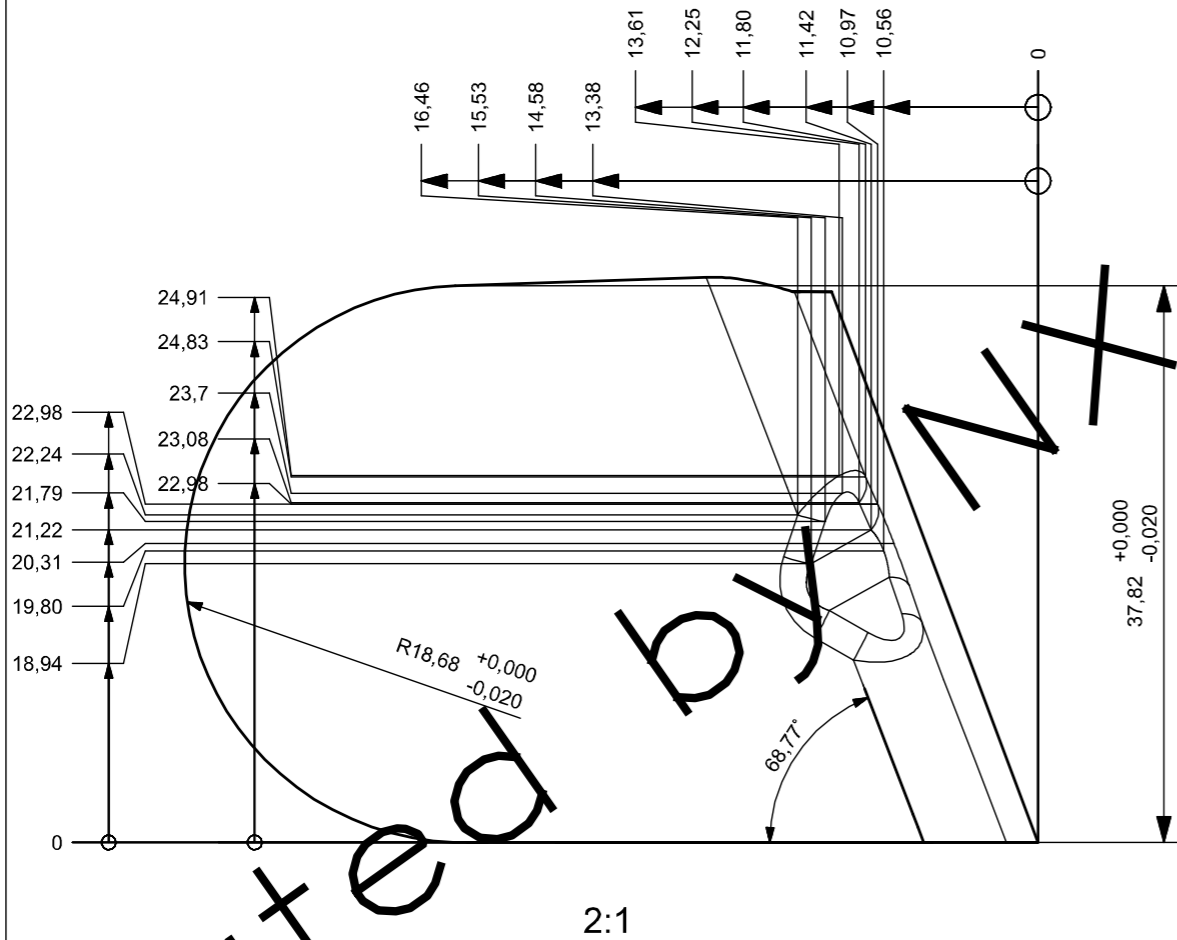
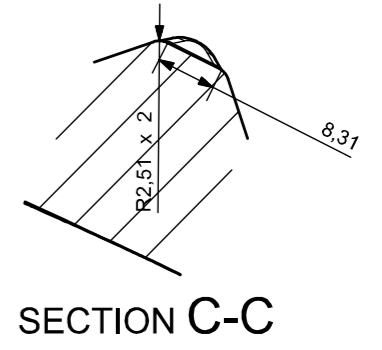
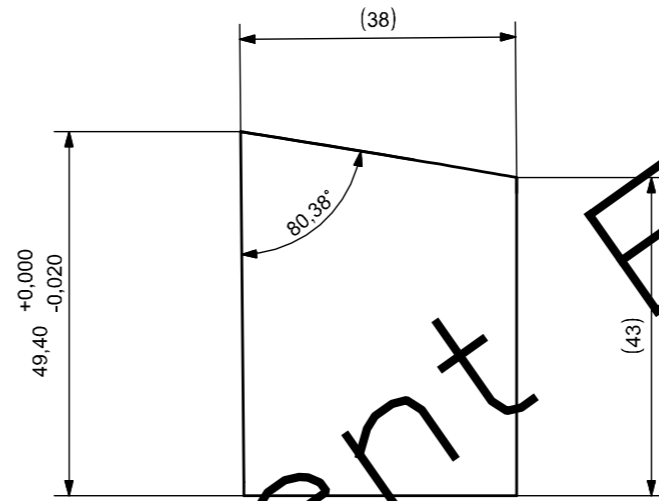
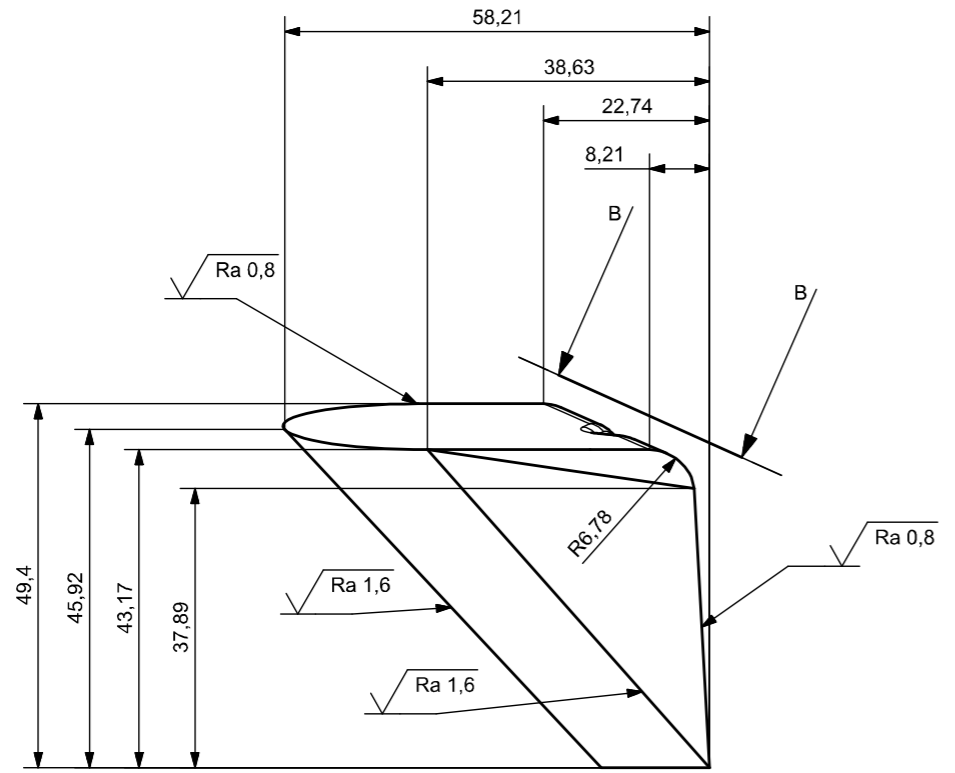
2:1



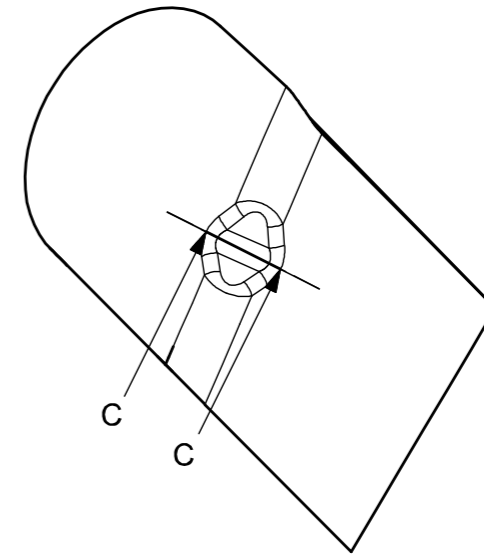
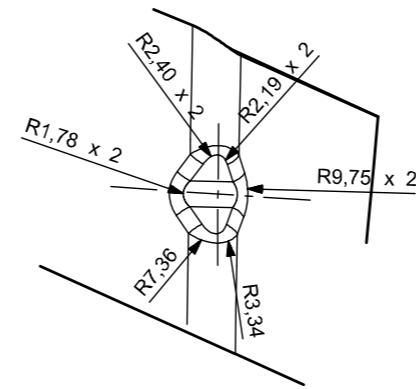
1:2

Detaili täielikud mõõtmed vastavalt Tempel 12.stp failile

	Materjal: Teras SKS3	Märkimata piirhälbed: IT7	Mass: 1,57 kg	Mõõt: 1:1
Teostas:	O. Protsin	<h1>Tempel 12</h1>		
Kontrollis:	M. Eerme			
Kinnitas:	M. Eerme			
TALTECH		Leht: 1/1	Tähis: MATM - 022	



Student Edition



Detaili täielikud mõõtmed vastavalt Matriits 12.stp failile

SECTION B-B

	Materjal: Teras SKS3	Märkimata piirhälbed: IT7	Mass: 1,46 kg	Mõõt: 1:2
Teostas:	O. Protsin	<h1>Matriits 12</h1>		
Kontrollis:	M. Eerme			
Kinnitas:	M. Eerme			
TALTECH		Leht: 1/1	Tähis: MATM - 023	

Created by NH